

VŠB-Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Bakalářská práce

VŠB-Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Technologie provádění záporového pažení

Technology of Braced Sheet piling Realization

Student:

Jakub Kahánek

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Marek Mohyla

Ostrava 2015

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo. □
- беру на ве́доміі, же Высoкá škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO. □
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona. □
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše). □
- беру на ве́доміі, же odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....
podpis studenta

Poděkování

Chtěl bych rád poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Marku Mohylovi za odborné vedení, za pomoc a rady při zpracování této práce.

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá tématem pažících konstrukcí, konkrétně konstrukcí záporového pažení. Tento typ pažení se skládá z ocelové zápory a pažin, které bývají nejčastěji ze dřeva. Často se doplňují rozpěrami nebo kotvami. Jejich použití závisí na hloubce výkopu a na parametrech zeminy okolního prostředí. Technologie provádění souvisí s uložením zápory do zeminy. Zápory se vkládají buď do vrtu nebo se do zeminy beraní, či vibrují. Pažiny se ukládají mezi ně. Společně tvoří souvislou pažící stěnu. Praktická část je věnována výpočtu mnou zadané konstrukce záporového pažení. Je zde uveden jednak výpočet nosníkového modelu se zatížením plnými zemními tlaky a jednak výpočet pomocí softwaru GEO5. Vše je v souladu s EN 1997-1. Z výsledků výpočtu vyplývá, že navržená konstrukce vyhovuje.

Klíčová slova

Zápory, pažení, záporové pažení, kotvená stěna, statické řešení, průběh vnitřních sil.

Annotation

The topic of this bachelor thesis concerns the sheeting construction, specifically the construction of braced sheeting. This type of sheeting consist of the steel brace and timber lagging wall, often in addition with struts or anchors. Its application depends on the depth of the construction pit and on the parameters of the soil environment. Technologies of realization related to placing brace into soil. Braces are either placed into the ground by using drilling borehole, or by pile driving, or vibrating. Timber lagging is placed between braces. They form a continuous wall sheeting together. In the practical part there is a calculation of my designed construction of braced sheeting. There is a calculation of the beam model with full load earth pressure and a calculation by using software GEO5. All is in accordance with EN 1997-1. The result of the calculation showing that the designed construction is satisfactory.

Keys word

Brace, timber lagging, braced sheeting, anchored wall, static solution, proces internal forces.

Obsah

1. Úvod	9
2. Konstrukční řešení záporového pažení	10
2.1. Základní prvky	10
2.1.1. Zápory	10
2.1.2. Pažiny	11
2.1.3. Rozpěry	11
2.1.4. Kotvy	11
2.1.5. Převázky	11
2.2. Konstrukční řešení	12
2.2.1. Konstrukční řešení pažení stavebních jam	12
2.2.2. Konstrukční řešení záporového pažení	14
3. Technologické řešení záporového pažení	16
3.1. Provádění zápor	16
3.1.1. Vkládání do vrtů	16
3.1.2. Beranění	18
3.1.3. Vibrování	18
3.2. Provádění pažin	19
3.3. Provádění rozpěr	20
3.4. Provádění kotev	21
3.5. Provádění převázek	24
3.6. Demontáž záporového pažení	24
4. Statické řešení pažení, přehled metod	25
4.1. Podklady pro návrh	25
4.1.1. Geotechnické podklady	26
4.1.2. Stavební podklady	26
4.1.3. Pasportizace	26
4.1.4. Podklady o inženýrských sítích	27
4.2. Zatížení pažících konstrukcí	27
4.2.1. Zemní tlaky	28
4.2.2. Přírůstky zemních tlaků od ostatního stálého i nahodilého zatížení	33

4.2.3.	Zemní tlaky na pažení	34
4.2.4.	Účinky podzemní vody	36
4.3.	Přehled metod statického řešení	38
4.3.1.	Prutové modely na tuhých podporách s předem stanoveným zatížením	38
4.3.2.	Nosník na pružném podkladě, metoda závislých tlaků	40
4.3.3.	Numerické metody	42
5.	Statický posudek konstrukce záporového pažení	42
5.1.	Řešení 1 – nosníkový model	43
5.2.	Řešení 2 – software GEO5	51
6.	Závěr	55
	Seznam použité literatury	57
	Seznam literatury	57
	Internetové zdroje	57
	Seznam obrázků	59
	Seznam grafů	60
	Seznam tabulek	60
	Seznam příloh	60

1. Úvod

Záporové pažení je konstrukce, pomocí které se stabilizují svislé stěny stavební jámy a hlubokých rýh. Někdy se záporovému pažení říká „berlínské pažení“. Souvisí to s výstavbou berlínského metra na přelomu 19. a 20. století, kde byla tato metoda použita poprvé. V současnosti je velmi často používané, protože má jednoduché rychlé provádění a nízké náklady na 1 m² pažení.

Pažení je vhodné do suchých případně vlhkých zemin, kde hladina podzemní vody je pod dnem stavební jámy nebo kde je možné hladinu podzemní vody odvodnit a snížit pod dno stavební jámy. Používá se převážně tam, kde není možné vytvořit svahovanou jámu čili ve stísněných podmínkách (v blízkosti starších objektů, komunikací a inženýrských sítí). Často se taky provádí v kombinaci se svahem nebo podzemními stěnami. Lze s nimi zabezpečit stavební jámy hluboké 5 – 20 metrů.

Mezi výhody tohoto systému patří menší objem zemních prací oproti svahovaným jámám. Stěny výkopu jsou svislé. Dalším pozitivem je hospodárnost, jelikož konstrukci je možné po založení objektu rozebrat a využít na další stavební jámy (2x až 4x podle opotřebení). V případě, že pažení zůstane v zemině, jako část ztraceného bednění, urychlí se tím postup výstavby objektu.

Tento způsob stabilizace svislých stavebních výkopů má i své nevýhody. V první řadě větší pracnost, přísnější požadavky na přesnost a technologický postup při práci v blízkosti okolní zástavby a větší nároky na prostor pro prováděcí stroje.

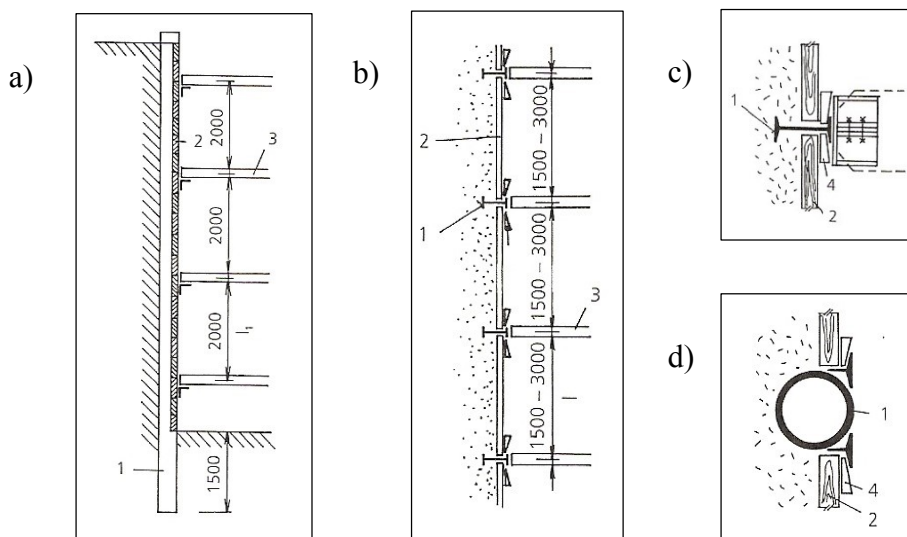
2. Konstrukční řešení záporového pažení

2.1. Základní prvky

Základní prvky, z kterých se záporové pažení skládá, jsou zápory a pažiny. Ty bývají často doplněny podpěrnými konstrukcemi, které jsou tvořeny rozpěrami nebo kotvami s převážkami. Každý z prvků má odlišnou funkci v celkové konstrukci. [1, 3]

2.1.1. Zápory

Zápory jsou svislé nosníky z ocelových válcovaných profilů nejčastěji typu I, HEB, zdvojených profilů tvaru U. Prováděly se taky z profilů s kruhovým průřezem, ovšem dnes se tato varianta už neprovádí (*Obr. 1*). Do horninového prostředí jsou zaberaněny, zavibrovány nebo zapuštěny do vrtů. Zhotovují se po obvodě stavební jámy a měly by být zaraženy minimálně 1,5 m pod dno stavební jámy. Při jejich osazování musí být dodrženy vzájemné osové vzdálenosti navržené podle statického výpočtu (obvykle od 1,0 do 3,0 m, nejtypičtější kolem 2,0 m) a jejich svislost a orientace při osazení. [1, 2, 3, 4, 5]



Obr. 1 Záporové pažení:

a – řez, b – půdorys, c – detail s I profily, d – detail s kruhovými profily;
1 – zápora, 2 – pažina, 3 – rozpěra, 4 – klín. [2]

2.1.2. Pažiny

Pažiny se vkládají mezi jednotlivé záporu při postupném hloubení jámy a vytváří stěnu odolávající zemnímu tlaku. Jsou většinou dřevěné – z kulatiny nebo hraněného řeziva, použity mohou být i ocelové pažiny, pažiny z vlnitého plechu nebo prefabrikovaný či monolitický železobeton. Ve vhodných geologických poměrech (málo tlačivé zeminy a poloskalní horniny) lze prostor mezi záporami opatřit stříkaným betonem s výztužnou sítí, která se přivaří k záporům. [1, 2, 4]

2.1.3. Rozpěry

Rozpěry mohou být dřevěné z kulatiny, častější však z válcovaných ocelových prvků nebo ocelových rour. Opírají se obvykle o každou záporu. Jejich počet lze zmenšit, když mezi rozpěru a záporu vložíme převázky, ocelové podélné prvky tvaru U, které přenášejí síly z více záporu do rozpěry. Rozpěry se většinou provádějí v případech malých vzdáleností protilehlých pažicích stěn. Nevýhodou je zmenšení manipulačního prostoru ve stavební jámě. [2, 4]

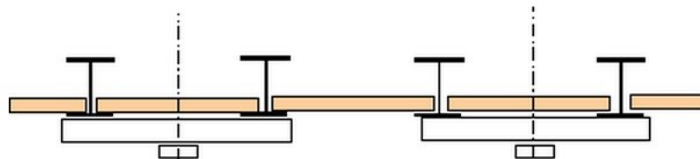
2.1.4. Kotvy

Kotvy stabilizují záporové stěny především u hlubších výkopů. Jejich funkcí je vytvoření podpory, která přenáší zatížení pažicí konstrukce do horninového prostředí. Používají se pramencové horninové kotvy, které se osazují přes převázky do míst mimo záporu nebo se umísťují mezi stojiny záporu tvořených z dvou profilu tvaru U. Výhodou použití kotev je volný manipulační prostor ve stavební jámě. V rozích a výklencích, kde by byla realizace kotev obtížná, se pažicí konstrukce rozpírá rozpěrami. [1, 4]

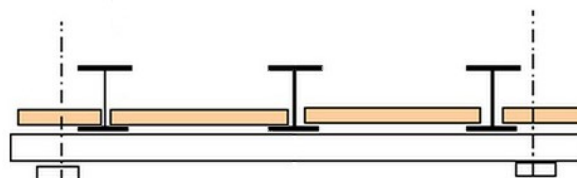
2.1.5. Převázky

Převázky jsou vodorovné nebo mírně skloněné nosníky z ocelových profilů, nejčastěji tvořené dvojicí válcovaných profilů I nebo U. Umožňují roznesení velkých soustředných sil z podpor a kotev na větší plochu pažení. Zpravidla přesahují dvě i více záporu a tvoří opěrnou konstrukci pro hlavy kotev. Společně s nimi mohou být předsazené nebo skryté. Převázky mohou staticky působit jako prostě uložené nosníky (*Obr. 2a*) nebo jako nosníky spojitě (*Obr. 2b*). [4, 6]

a)



b)



Obr. 2 Způsob provedení převážek:

- a – uložení převázky přes jedno pole mezi 2 ocelové nosníky – konstrukce působí jako prostě uložený nosník,
b – uložení převázky přes více ocelových nosníků – konstrukce působí jako spojitý nosník. [7]

2.2. Konstrukční řešení

2.2.1. Konstrukční řešení pažení stavebních jam

Volba konstrukčního řešení pažící konstrukce závisí na řadě faktorů. Především nás zajímají geologické a hydrogeologické poměry přímo na staveništi i v jeho okolí, zástavba kolem stavební jámy a hlavně účel použití samotné pažící konstrukce.

Konstrukce pažení, která zajišťuje stěny stavební jámy, může být provedena v různých variantách a kombinacích základních prvků, kdy některé prvky mohou být zcela vynechány. Konstrukci pažené jámy může tvořit např. pouze pažící stěna, která je vetknutá do podloží dna jámy, nebo naopak u jam ve skalních horninách může být tvořena pouze kotevními prvky.

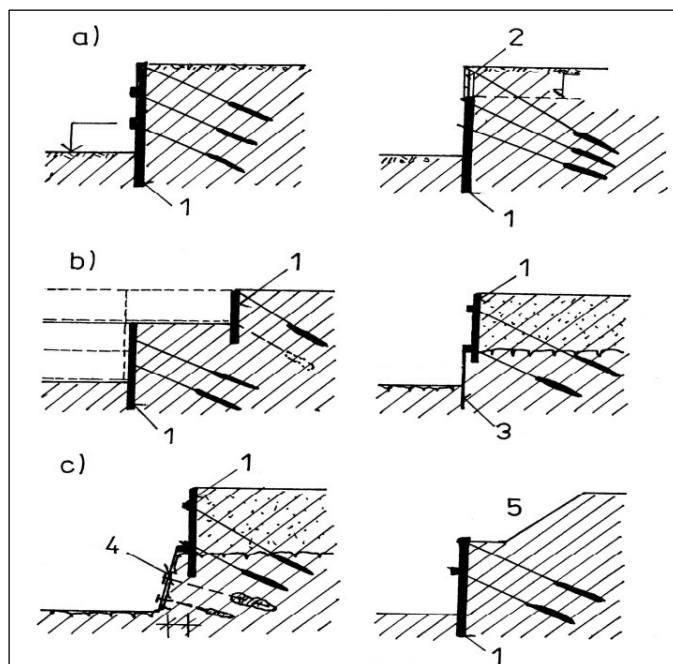
Základní varianty uspořádání příčného řezu pažících konstrukcí (*Obr. 3*):

- stavební jáma je pažená na celou výšku,
- stavební jáma je pažená jen zčásti (kombinované zajištění jámy),
- stavební jáma s kotveným svahem.

Pažící stěna na celou výšku jámy bývá technologicky i konstrukčně stejná po celé výšce. Jedná se o nejběžnější uspořádání. Typ pažení se taky může po výšce měnit. Odstupňované zajištění pažené stavební jámy se projektuje, pokud máme dispoziční nároky, které vyžadují výrazné půdorysné rozšíření horního podzemního podlaží přes obrys spodních podlaží (vstupy, podchody, vestibuly, přístupové rampy v definitivním stadiu, sjízdné rampy ve stavebním stadiu), nebo pokud máme navržené pažení s poměrně menší tuhostí pro velkou volnou výšku, které vyvolává nepříjemné deformace pažící konstrukce.

Jáma pažená jen z části neboli kombinované zajištění stavební jámy, je kombinací pažení a svahování. To nám dovolují jak vhodné geotechnické podmínky, tak dostatek místa pro vytvoření svahu. Svahované stěny se často zabezpečují hřebíkováním, popř. kotvami přes vodorovné prahy.

Stavební jáma s kotveným svahem se používá především v pevnějších prostředích a v místech méně náročných na prostor, kdy je umožněno určité rozšíření výkopů svahováním.



Obr. 3 Typy příčného uspořádání pažené stavební jámy:

- a – pažení na plnou výšku jámy, b – odstupňované pažení, c – kombinované zajištění
 1 – podzemní stěna, 2 – snáze demontovatelné pažení, 3 – mikropiloty,
 4 – hřebíkování, 5 – svahovaná jáma. [3]

Podle délky provozního působení dělíme pažení na:

- dočasné
- trvalé

Dočasné pažení přebírá pažící funkci jen do té doby, než se provede výstavba suterénních částí stavby. Poté může být odstraněno a následně znovu použito nebo může zůstat v zemině jako ztracené bednění, ale ztrácí svoji původní funkci, kterou převezme zhotovený suterén stavby. Dočasné pažení je konstrukce, které má životnost do 2 let. Tento údaj je dán legislativou, takže po uplynutí této doby nenese projektant ani zhotovitel zodpovědnost za jeho stav.

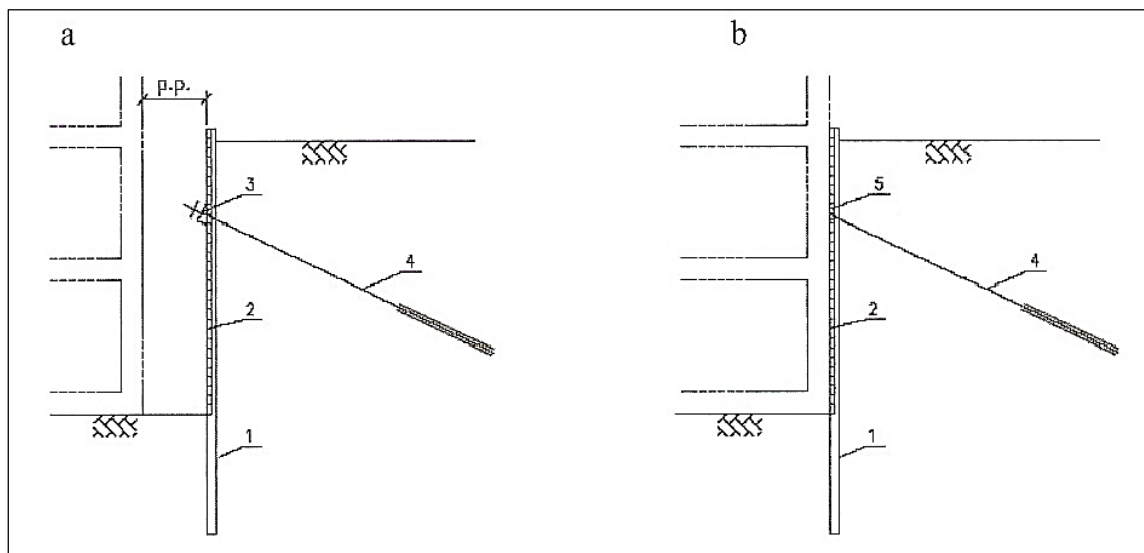
Trvalé pažení má jak funkci pažící, kdy umožňuje výkop stavební jamy, tak funkci konstrukční, kdy tvoří část nebo celou konstrukci suterénního objektu a přenáší zatížení stavby do podloží. Tyto funkce trvají po celou dobu životnosti vlastního objektu, proto musí vyhovovat požadavkům na pažení i na konečnou funkci stavby. Záporové pažení se navrhuje především jako dočasná konstrukce.

2.2.2. Konstrukční řešení záporového pažení

Záporové pažení může být ve stavební jámě umístěno vzhledem k budoucímu objektu v těsném kontaktu tzv. bez pracovního prostoru nebo je mezi objektem a pažící stěnou mezera tzv. pracovní prostor.

- **záporové pažení s pracovním prostorem** se provádí v zapážené stavební jámě nebo rýze, která je dostatečně odsazena od stavby. Minimální pracovní prostor mezi objektem a pažící stěnou je 0,80 m. Jakmile skončí jeho dočasná funkce, bývá obvykle odstraněno. Většina prvků lze poté znovu použít. (*Obr. 4a*)
- **záporové pažení bez pracovního prostoru** je použito jako ztracené bednění, a často tvoří součást spodní konstrukce objektu. Je zde kladen větší nárok na rovnost pažící stěny, aby byla bez jakýchkoliv výstupků. S tím souvisí i např. úprava hlav kotev, které jsou v konstrukci skryté, popřípadě i převázky mohou být zapuštěné za líc pažící konstrukce. Takto rovný povrch se opatří omítkou nebo stříkaným betonem a slouží jako podklad pro svislou izolaci. Po provedení spodní výstavby objektu se většinou

horní část pažení dodatečně odstraní, asi do 1,5 m, z rýhy vyhloubené z vnější strany od provedené stavby. (Obr. 4b)



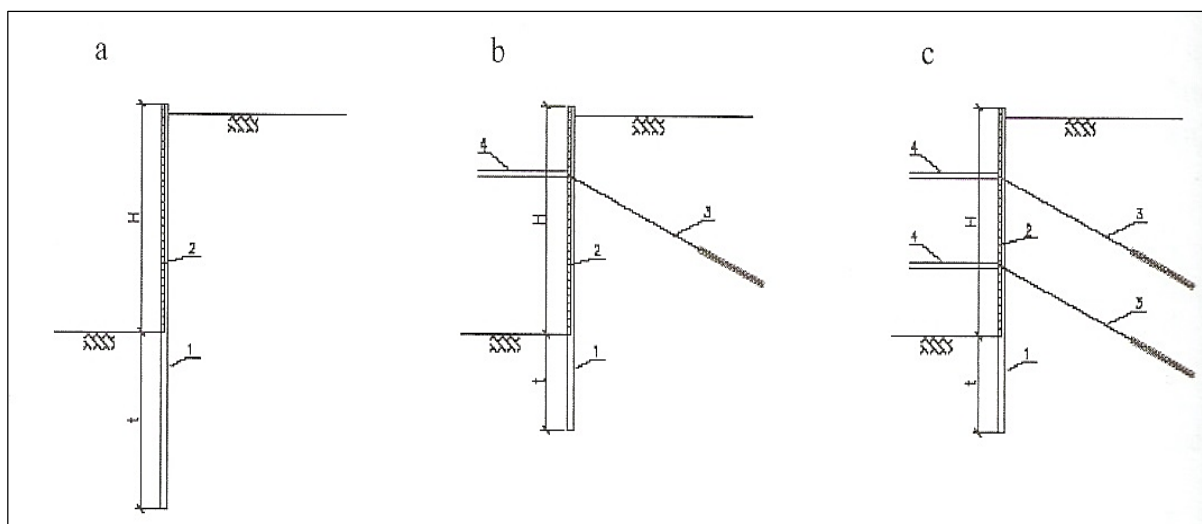
Obr. 4 Schéma záporového pažení:

a – pažení s pracovním prostorem, b – pažení bez pracovního prostoru;

1 – zápora, 2 – pažiny, 3 – předsazená převázka, 4 – kotva, 5 – skrytá (utopená) převázka, 6 – případná povrchová úprava pažin (omítka apod.) [3]

Vlastní konstrukce záporového pažení se může realizovat jako:

- volně stojící (nekotvené ani nerozepřené). Používá se, pokud je volná výška konstrukce poměrně malá (asi do 3,5 – 4,0 m) a nevznikají nebezpečné deformace, které by ovlivňovaly okolní zástavbu (Obr. 5a).
- jednonásobně kotvené či rozepřené. Používá se, pokud volná výška je od cca 3,5 m do 7,0 m. Konstrukce se kotví nebo rozpíná v jedné úrovni (Obr. 5b).
- vícenásobně kotvené či rozepřené. Pažení se kotví nebo rozpíná ve více úrovních, avšak nedoporučuje se provádět více jak 3 úrovně, v důsledku poměrně malé tuhosti zápor. To odpovídá přibližně 12 m. Je-li nutné zajistit stabilitu hlubší jámy, doporučuje se použít odstupňované pažení s lavičkami (Obr 5c). [3]



Obr. 5 Druhy záporového pažení:

a – volně stojící, b – jednonásobně kotvené či rozepřené, c – vícenásobně kotvené či rozepřené;

H – volná výška, t – vetknutí zápor pod dno jámy;

1 – zápora, 2 – pažiny, 3 – kotva, 4 – rozpěra. [3]

3. Technologické řešení záporového pažení

Realizace záporového pažení je poměrně rychlá a proto taky často používaná metoda pro zajištění svislých stěn výkopu stavební jámy. Hlavní bod provádění je uložení ocelových zápor do zeminy. Odtud vychází název technologického postupu realizace. Záporny lze tedy provádět více způsoby, buďto vkládáním zápor do vrtů, nebo zabíraním či zavibrováním zápor do zeminy.

3.1. Provádění zápor

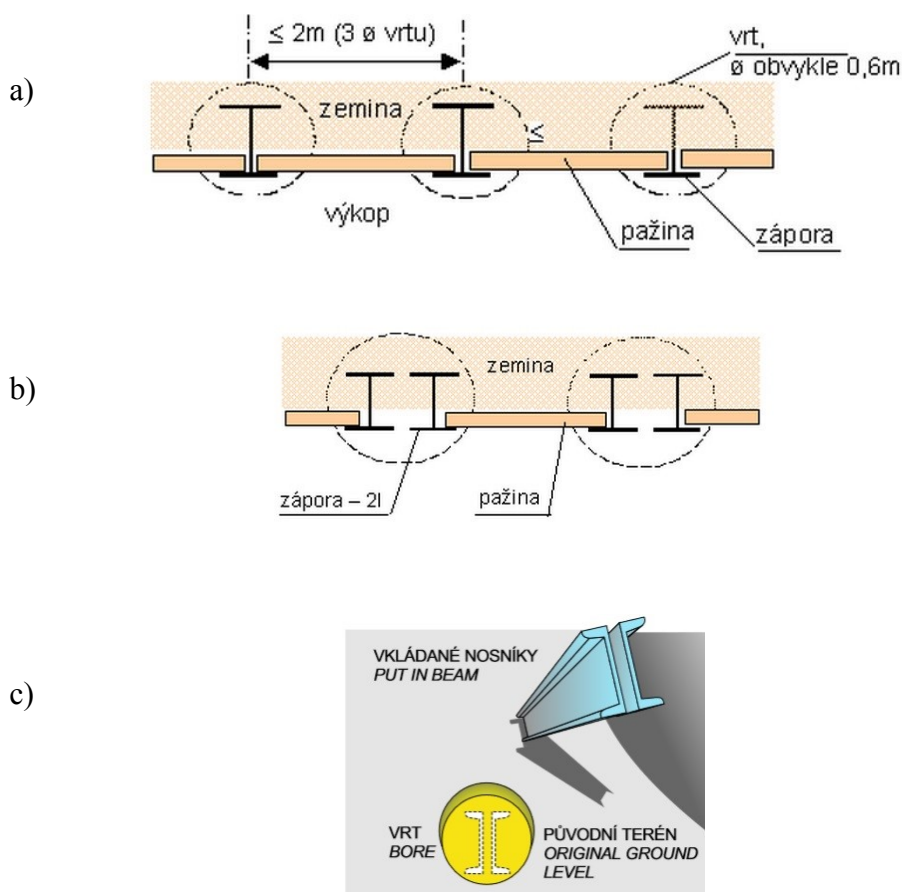
3.1.1. Vkládání do vrtů

V zastavěných oblastech je šetrnější a běžnější osazování do vrtů. Vrty se provádějí kruhového průřezu a jejich průměr se volí podle velikosti použitých zápor od 400 do 800 mm. Nejčastější vrty jsou o průměru 630 mm, které dovolují určitý posun zápor při jejich osazování,

čímž můžeme dosáhnout přesné polohy. Vrtý mohou být nezapažené nebo zapažené bentonitovou suspenzí či ocelovou výpažnicí.

Zápory se běžně osazují jeřábem. Jakmile jsou vycentrovány, opřou se o dno vrtu a u jeho ústí se zajistí poloha pomocí klínů nebo jiným vhodným způsobem. Zápory by měly být vetknuty minimálně 1,5 m pod dno stavební jámy, bez ohledu na statické posouzení. Tato vetknutá část ve vrtu se pak zabetonuje. Prostor nad úrovní dna stavební jámy, mezi záporou a vrtem, se vyplní vyvrtanou zeminou nebo hubeným betonem. Mají-li být zápory po skončení své funkce vytaženy z vrtu, musí být ošetřeny proti přilnutí betonu.

Kromě ocelových válcovaných zápor profilu I a HEB lze do vrtu vkládat i U profily, které jsou obrácené stojinami k sobě ve vzdálenosti 120 – 200 mm a navzájem spojené navařením pásovin 100/10 po asi 2,0 m. [1, 2, 3, 4, 7]



Obr. 6 Možnosti vkládání zápor do vrtů:

a – vložení záporý I profilu, b – vložení dvojice záporý I profilu [7],

c – vložení dvojice záporý U profilu. [8]

3.1.2. Beranění

Technologie beranění se většinou využívá pro vetknutí konstrukčních prvků do soudržných a nesoudržných zemin nebo poloskalního prostředí. Výhodou je, že při osazování prvků dochází k hutnění okolní zeminy, přičemž se zlepší její geotechnické vlastnosti.

Provádí se pomocí beranícího zařízení, kde zápory beraníme do potřebné hloubky. Je nutné dbát o správnost uložení záporu do zeminy a o její svislost. Beranit nelze dvojice U nosníků. U písčitých zemin je možné ocelový nosník zaberanit až do hloubky 20 m, u štěrkovitých zemin je hloubka menší asi do 8 m. Nedá-li se dostatečně zaberanit z důvodu pevnějšího horninového prostředí, nebo otřesy a hluk beranícího zařízení ohrožují okolní zástavbu, vkládáme záporu do vrtů.

Jako beranící zařízení se využívá dieselová nebo hydraulická nárazová beranidla, které jsou podle typu umístěna buď na vodící věži nosiče, nebo jsou volně zavěšena na závěsu jeřábu. [2, 9]

3.1.3. Vibrování

Tato technologie lze použít především v nesoudržných zeminách, nebo pokud spodní část podloží obsahuje tuhé neogenní jíly. Stejně jako u beranění se během osazování záporu hutní okolní zemina, která tím zlepšuje své vlastnosti.

Nejčastěji se používají vibrátory, které jsou volně zavěšené. Pro zaručení nejprůběžnějšího průběhu vibrování lze vybírat z několika výkonných vibrátorů, jejichž výběr závisí na velikosti zabudovávaného prvku nebo na geologických podmínkách v místě realizace.

Vibrování se dá využít i v zastavěných oblastech za předpokladu použití vysokofrekvenčních vibrátorů, které minimalizují nepříznivý vliv vibrací na budovy v okolí. [2, 9]

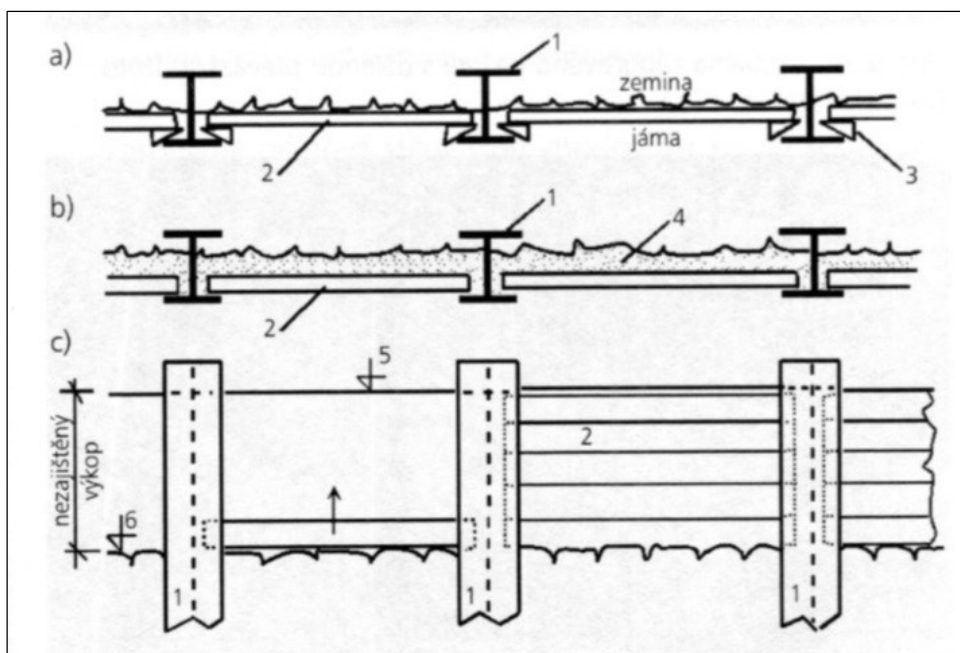
3.2. Provádění pažin

Máme-li všechny zápory po obvodu stavební jámy správně vložené do zeminy, probíhá postupné hloubení stavební jámy a vkládání pažin mezi zápory. Hloubení se provádí po jednotlivých etapách. Je důležité, aby se zabránilo nadměrnému těžení zeminy za záporami. Maximální výška svislého nezapaženého výkopu nesmí být větší, než určil projekt a ponechána po delší dobu bez pažení, než určil projektant. Etapy se provádí maximálně v hloubkových pásech 1,5 m.

Pažiny se při první etapě zasouvají mezi zápory shora směrem dolů, avšak při dalších etapách už to není možné a vkládají se odspodu z líce pažení. Délka pažin je rovna vzdálenosti mezi stojinou jedné zápor a krajem příruby druhé zápor. Délka zasunutí pažiny za přírubu zápor by měla být nejméně $\frac{1}{5}$ šířky příruby.

Pažiny se utahují proti přírubám zápor pomocí dřevěných plochých klínu. Tím se dosáhne jejich plného kontaktu a aktivaci s paženou zeminou. Nakonec se doporučuje klíny zajistit pomocí svislých latí, které jsou přibity k pažení. Velmi často se využívá u pažení s pracovním prostorem. (*Obr. 7a*)

Druhou možností, avšak méně spolehlivou, je přirazit pažiny přímo k přírubám zápor. Prostor mezi pažinami a stěnou výkopu se postupně vyplní vhodným materiálem a ručně zhutní po vrstvách tloušťky do 0,1 m. Tím se snažíme, aby se líc výkopu nerozvolňoval. To v určité fázi ale není možné a za pažinami zůstávají v horní části jednotlivých etází nevyplněné prostory. Může tak dojít k poklesu nebo sesutí stěny výkopu, který ve většině případů může poškodit i sousední objekty. Proto je nutné tyto místa co nejvíce eliminovat. Tato možnost se využívá, když potřebujeme zcela rovný líc pažení, např. když pažení slouží jako ztracené bednění. Jeho povrch se často upravuje omítkou. Klíny se zde nepoužívají. (*Obr. 7b*) Pažiny v tomto případě jsou vždy hraněné (hranoly šířky 60 – 120 mm, výjimečně i fošny tloušťky nejméně 60 mm – podle statického posouzení). [1, 3, 4, 5, 7]



Obr. 7 Schéma záporového pažení

a – pažení s klíny, b – pažení se zásypem, c – pohled na pažení;

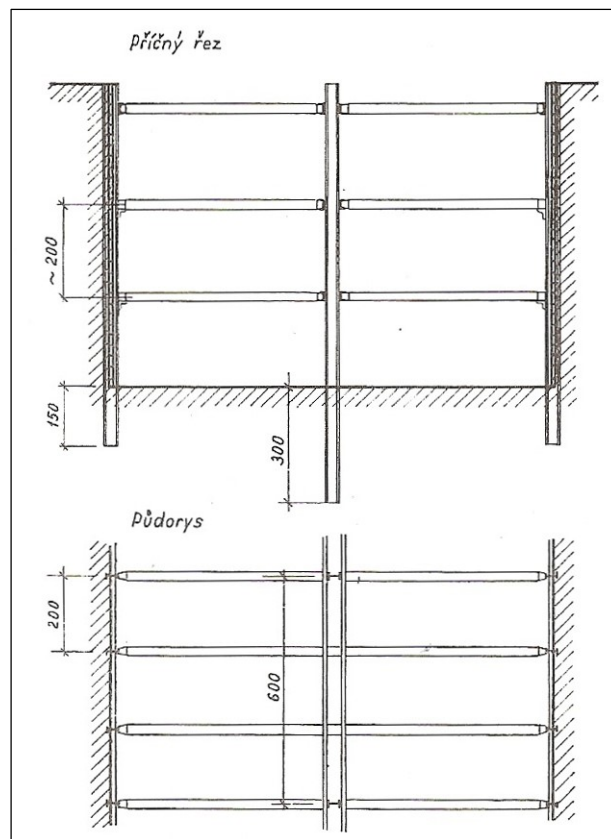
1 – zápora, 2 – pažina, 3 – klín, 4 – zásypový materiál, 5 – terén,

6 – úroveň dílčího výkopu. [1]

3.3. Provádění rozpěr

Rozpěry se můžou provádět jako vodorovné, které se v méně širokých jámách či rýhách stěny pažící konstrukce navzájem rozepínají, nebo výjimečně jako šikmé, opřené patou o zhotovený základ. Rozpěry nebývají předepnuty, ale musí se alespoň aktivovat, což se provádí např. doklínováním rozpěry ke konstrukci pažení.

Pažící konstrukce se může rozepřít v jedné nebo ve více úrovních. Jednotlivé úrovně podepření se provádí průběžně s hloubením výkopu a osazováním pažin. Ve svislém směru je obvyklá vzdálenost jednotlivých úrovní přibližně 2 m. Rozpěry jsou obvykle z jednoho kusu pro šířku jam do 6 až 8 m. Širší jámy než 8 m se rozepínají ocelovými prvky nebo kuláči, které se nastavují na vodorovných kleštinách z nosníků tvaru U, připevněných na ocelové stojky, vložené v ose jámy po 6 m od sebe. Rozpěry, které neleží v rovině stojky, se opírají o nosníky tvaru U, mezi nimiž je mezera, která se vyplňuje špalkem a klíny. [2, 3, 5]



Obr. 8 Rozepřené záporové pažení širší stavební jámy [5]

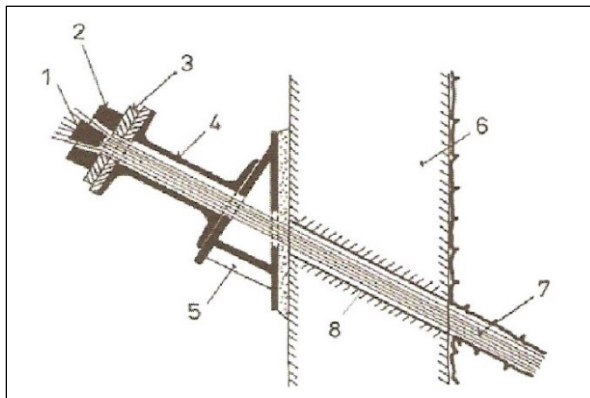
3.4. Provádění kotev

Základní operací je provedení vrtu o průměru 100 až 200 mm, do něhož se vsune kotva, upevní se v kořeni a provede se injektáž. Po technologické pauze je možno kotvu napnout na požadovanou sílu. Vlastní kotvení po výšce pažící konstrukce se provádí průběžně během hloubení stavební jámy. Dočasné dno jámy se zřizuje v hloubce 0,5 až 1 m pod jednotlivými kotevními úrovněmi. Po osazení, předepnutí a vyzkoušení kotev jedné úrovně se provede v dílčích etapách výkop k další úrovni zakotvení a postup se opakuje. Provádí se v jedné nebo ve více úrovních pod sebou, maximálně však ve 3, kvůli poměrně malé tuhosti ocelové zápor.

Pro uspořádání kotev v podpěrném systému jsou obvyklé následující parametry: rozteč 2 až 4 m, vzdálenost mezi jednotlivými úrovněmi řad 2,5 – 5 m, minimální sklon 10°, běžná sklon 15° až 30°, maximální sklon 45°. [1, 4]

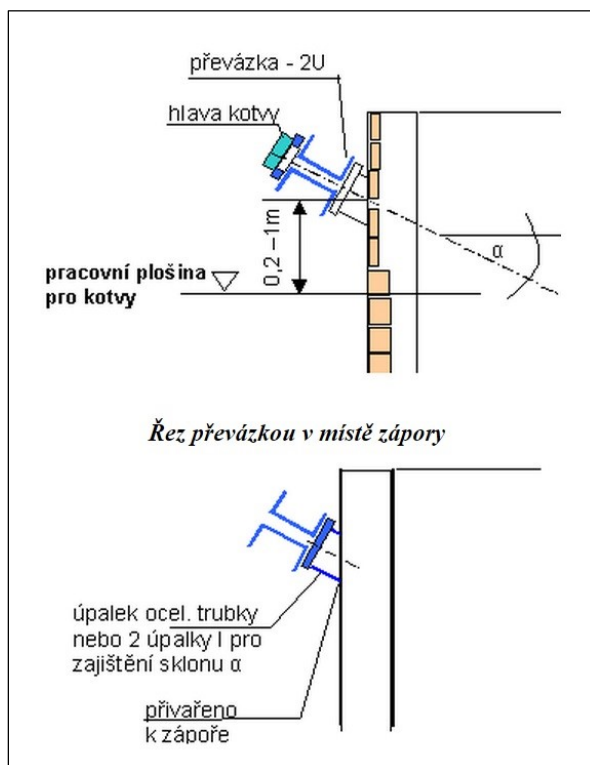
Při kotvení záporových stěn používáme ocelové převázky, na které se osazují hlavy kotev (*Obr. 9, Obr. 10*).

V některých případech lze kotvení provádět i bez použití převázek, pomocí ocelových desek. Podmínkou tohoto způsobu je mít vedle sebe vetknutou dvojici zápor profilu I. Ocelové desky, se k záporům přivařují (*Obr. 11, Obr. 12a, b*).

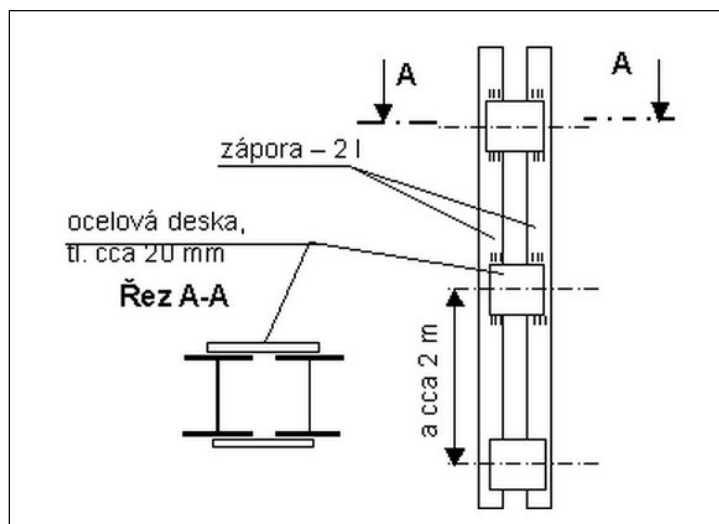


Obr. 9 Uspořádání hlavy pramencové kotvy:

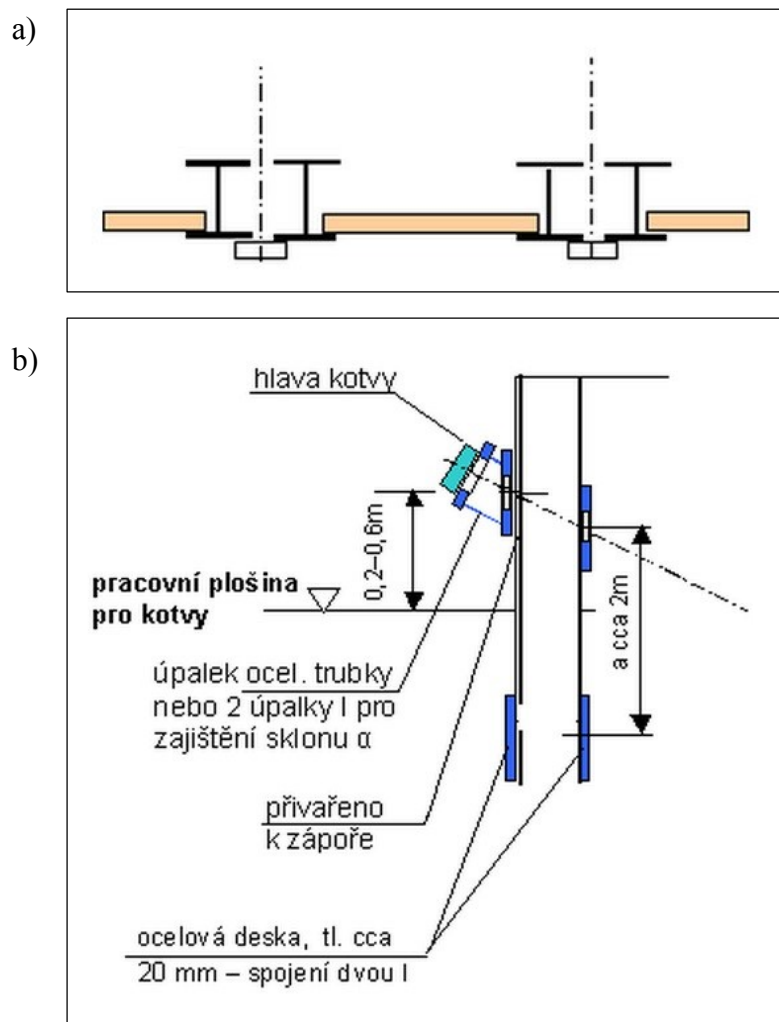
- 1 – Upínací kuželík každého pramence, 2 – objímka, 3 – podkladní deska,
4 – převázka tvořená dvojicí U profilů, 5 – ocelový svařenec, 6 – pažící stěna,
7 – táhlo kotvy z patentových drátů, 8 – průchodka. [3]



Obr. 10 Kotvení pomocí převázky [7]



Obr. 11 Spojování dvojice zápor [7]



Obr. 12 Kotvení pomocí ocelové desky:

a – půdorys, b – řez. [7]

3.5. Provádění převázek

Převázky se obvykle navrhují ob 2 záporů. Díky tomu se můžeme vyhnout problémům, které vznikají např. nepřesným uložením záporů. Používají se v kombinaci s kotvením, kdy se na převázky osazují hlavy kotev, což umožňuje volný prostor v jámě.

U pažení s pracovním prostorem převázky místo sice zužují, ale bývá to dovolené. Používá se tzv. předsazených převázek obvykle z dvojic U profilů (2 x U č. 240 – 300), v případě potřeby i z dvojic I profilů (*Obr. 10*). Převázky se vhodně natáčejí podle sklonu kotvy a osazují se na kozlíky z plechu tloušťky 10 – 20 mm, které se k záporům přivařují.

V případě záporového pažení bez pracovního prostoru nelze předsazené převázky použít, pokud se je nepodaří umístit vhodně tak, aby postupně realizovaný objekt převzal vodorovné síly pomocí příslušných stropů a převázky mohly být postupně od spodu likvidovány po deaktivaci kotev. To bývá možné pouze výjimečně, a proto nezbyvá než použít jiné řešení:

- záporů z dvojic U profilů, kde lze kotvy umístit mezi stojiny a hlavy kotev upravit tak, aby nevyčnívaly, znamená to však kotvit každou záporu
- navrhnout tzv. zapuštěné převázky, které se umísťují mezi stojiny zápor, ale obtížně se montují. Někdy se používá zesílených profilů Larsen IIIⁿ. [3]

3.6. Demontáž záporového pažení

Pokud se záporové pažení neponechává v zemině jako část konstrukce podzemního objektu nebo jako ztracené bednění může se odstranit, ale není to podmínkou. Většinou se demontuje dočasné pažení, které splní a ukončí svou funkci.

V případě záporového pažení s pracovním prostorem lze provést následující pracovní postup:

- po položení obvodové drenáže mezi objektem a pažením se demontují pažiny na výšku kolem 1,0 m a prostor mezi objektem a základovou půdou se zasype vhodnou zeminou, která se po vrstvách hutní

- takto se postupuje až k úrovni převázky, popř. až k povrchu pažení
- pokud je pažení kotvené přes převázku, kotva se deaktivuje a převázka se demontuje a vytáhne (kotva se v zemi ponechá)
- po likvidaci všech pažin a zásypu rýhy na celou výšku se zápory vytáhnou. Používá se při tom speciálního zařízení na principu obráceného beranu, kterým se zápora uvolní a povytáhne, poté se použije k vytažení mobilní jeřáb. V některých případech však pažiny z výkopů demontovat nelze a tak zůstávají trvalou součástí zásypu objektu. [3]

4. Statické řešení pažení, přehled metod

Návrh pažící konstrukce stavebních jam je ovlivněn mnoha faktory, které závisí především:

- na inženýrskogeologických a hydrogeologických poměrech na staveništi a jeho okolí,
- na pevnostních a deformačních parametrech základové půdy,
- na půdorysných rozměrech stavební jámy,
- na hloubce stavební jámy a na hloubce základových spár sousedních objektů,
- na možnostech přístupu pro stavební stroje a mechanismy,
- na požadavku na charakter této konstrukce (pouze pažící – dočasná, nebo trvalá),
- na požadavku na vodotěsnost pažící konstrukce,
- na požadavku využití této konstrukce (např. jako ztracené bednění, podklad pro svislou izolaci atd.)

4.1. Podklady pro návrh

V závislosti na hlediska návrhu pažící konstrukce, určujeme potřebu a rozsah potřebných podkladů pro návrh.

4.1.1. Geotechnické podklady

Patří mezi základní podklady a získáváme je na základě zadaného a provedeného inženýrskogeologického průzkumu, který financuje většinou investor. U tohoto průzkumu je vhodná přítomnost geotechnika, který bude budoucí geotechnickou konstrukci navrhovat, a který má dostatek zkušeností na to, aby většinou dokázal odhadnout metodu zajištění stavební jámy a tomu přizpůsobit požadavky na geotechnický průzkum. Základem každého průzkumu je provádění průzkumných sond (jádrových vrtů nebo kopaných sond) a v některých případech i provádění polních geotechnických zkoušek. Nedílnou součástí inženýrskogeologického průzkumu jsou taky laboratorní zkoušky. Díky nim na vzorcích neporušených zemin získáváme jejich potřebné parametry. Je dobré, aby průzkum tyto zkoušky plánoval.

Před plánováním těchto prací by měla být provedena geologická rešerše. Pomocí ní lze odhadnout, o jaké podloží půjde, zda je v rozumné hloubce apod. Na základě rešerše nebo zkušeností se plánuje geotechnický průzkum (podrobný nebo doplňkový). Ten by měl vycházet ze znalostí:

- základních geotechnických poměrů na lokalitě,
- rozsahu a hloubky stavební jámy,
- okolní zástavby,
- očekávaných hydrogeologických poměrů.

4.1.2. Stavební podklady

Mezi tyto podklady patří podklady o plánované stavbě a podklady o stávající zástavbě. Investor, který provádí realizaci, by měl znát stavební záměr a uvědomovat si všechny souvislosti.

4.1.3. Pasportizace

Pasportizace je činnost, díky které získáváme komplexní soubor informací o aktuálním technickém nebo kvalitativním stavu zájmových objektů. Pokud existuje pasportizace sousední zástavby, měla by být součástí stavebních podkladů. Má se skládat z podrobných zákresů

(po patrech, nebo místnostech s jednoznačným označením místností), dále z fotodokumentace, popř. i videozáznamu. Zprávu o pasportizaci je dobré nechat podepsat majitelem nemovitosti nebo jejím správcem, popř. mu jeden výtisk předat. Odmítne-li soused přístup do své nemovitosti, je třeba o tom pořídit zápis předem, na který se lze později odvolat.

4.1.4. Podklady o inženýrských sítích

Tvoří samostatnou a velmi problematickou skupinu potřebných podkladů. Hlavní problém spočívá v tom, že se obtížně získávají a pokud podklady existují, nebývají věrohodné.

U realizaci svislých pažících konstrukcí se může pod jejich navrženým půdorysem objevit překážka. Často se to řeší návrhem předvýkopu do určité hloubky (např. 1,0 m) a zjištění průběhu této překážky, osazení průchodek, nebo zřízení vodicích zídek nebo šablon. Větší problémy jsou s návrhem kotev ve vztahu k stávajícím inženýrským sítím. Kotvy bývají uloženy naštěstí dosti hluboko, a tak jde vesměs o případný kontakt s kanalizací, protože ostatní sítě jako elektrické vedení, slaboproud, voda a plyn, bývají vedeny v menších hloubkách. [3]

4.2. Zatížení pažících konstrukcí

Posouzení navržených pažících konstrukcí se provádí statickým výpočtem. Podle ČSN EN 1997-1 se při výpočtu vychází z mezních stavů 1. skupiny, kdy při jejich překročení dochází k úplné a trvalé ztrátě únosnosti konstrukce, a také z mezních stavů 2. skupiny (použitelnosti), kdy při jejich překročení se omezuje, případně i vylučuje obvyklé užívání konstrukce, nebo zkracuje doba životnosti konstrukce. Jejich analýza vede vesměs k určení deformací pažících konstrukcí, které jsou pro jejich návrh obvykle rozhodující.

Na samotnou pažící konstrukci působí několik druhů zatížení. To může být tvořeno:

- zemními tlaky,
- přírůstky zemních tlaků od ostatního stálého i nahodilého zatížení,
- vlivy podzemní a případně i volné vody,
- dalším vnějším zatížením.

Zatížení můžeme rozdělit podle doby trvání a podle změn velikosti, polohy nebo smyslu na zatížení:

- stálá,
- nahodilá (pohyblivá),
 - dlouhodobá
 - krátkodobá
 - mimořádná.

Za stálá zatížení se považují:

- tíhy nosné konstrukce a všech jejích trvalých částí,
- trvale působící tlaky zemin, sypkých hmot a kapalin,
- účinky předpětí konstrukce.

Za nahodilá se považují zatížení:

- užitná,
- klimatická,
- od vynucených přetvoření,
- montážní. [3,10]

4.2.1. Zemní tlaky

Zemním nebo horninovým tlakem nazýváme síly, kterými na sebe navzájem působí zemina (hornina) a stavební konstrukce (pažící, opěrná apod.). Velikost zemního tlaku závisí na vlastnostech základové půdy – na jejích pevnostních parametrech (úhlu vnitřního tření – φ a soudržnosti – c), na parametrech popisných (objemové tíže – γ), na druhu konstrukce, její tuhosti a uložení v základové půdě, tedy především na velikosti a směru posunu, pootočení či jiného přetvoření zatížené části konstrukce. V závislosti na velikosti této deformace může nabýt zemní tlak jakékoliv velikosti mezi dvěma mezními hodnotami, kterými jsou aktivní a pasivní zemní tlak. Všechny tyto mezilehlé hodnoty kromě zemního tlaku v klidu lze stanovit pouze přibližně.

4.2.1.1. Zemní tlak v klidu

Vodorovné napětí působící na svislý rub zatěžované konstrukce, která se nedeformuje, se stanoví:

$$\sigma_r = K_r \cdot \sigma_z \quad (1)$$

kde σ_r je svislé (geostatické) napětí v hloubce z ,
 K_r je součinitel zemního tlaku v klidu.

Velikost tohoto součinitele vyplývá za předpokladu základové půdy jakožto pružného poloprostoru z rozšířeného Hookeova zákona:

$$K_r = \nu / (1 - \nu) \quad (2)$$

kde ν je Poissonovo číslo základové půdy.

Pro praktické výpočty se využívá zejména empirické Jákyho formule:

$$K_r = 1 - \sin \varphi_c \quad (3)$$

kde φ_c je náhradní úhel vnitřního tření základové půdy.

Výslednice zemního tlaku v klidu S_r , působící na svislý rub konstrukce zatížené na plnou výšku h :

$$S_r = \frac{1}{2} \gamma \cdot h^2 \cdot K_r \quad (4)$$

Tato síla působí kolmo na svislou rubovou stěnu v těžišti zatěžovacího obrazce, má tedy vodorovný směr. Napětí při zemním tlaku v klidu σ_r v hloubce z pod vodorovným povrchem terénu, působící na šikmou stěnu odkloněnou od svislice o úhel α , se vypočte:

$$\sigma_r = \sigma_z \cdot (\sin^2 \alpha + K_r^2 \cdot \cos^2 \alpha)^{1/2} \quad (5)$$

přičemž úhel odklonu výslednice od normály ke stěně δ je:

$$\operatorname{tg} \delta = ((1 - K_r) \cdot \operatorname{tg} \alpha) / (K_r + \operatorname{tg}^2 \alpha) \quad (6)$$

normálová a tangenciální složka tohoto napětí:

$$\sigma_n = \sigma_z \cdot (\sin^2 \alpha + K_r \cdot \cos^2 \alpha); \quad \tau = \sigma_z \cdot (1 - K_r) \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \quad (7)$$

Výslednice zemního tlaku:

$$S_r = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot (K_r^2 + \tan^2 \alpha)^{1/2} \quad (8)$$

Je-li terén šikmý ($|\beta| \leq \varphi$), potom napětí při zemním tlaku v klidu:

$$\sigma_r = (\sigma_z \cdot K_r \cdot \sin \varphi \cdot \cos \beta) / (\sin \varphi - \sin^2 \beta) \quad (9)$$

4.2.1.2. Aktivní zemní tlak

- Nesoudržné zeminy

Napětí při aktivním zemním tlaku σ_a v hloubce z působící na rubu zatížené konstrukce je:

$$\sigma_a = \sigma_z \cdot K_a \quad (10)$$

kde K_a je součinitel aktivního zemního tlaku:

$$K_a = (\cos^2 (\varphi - \alpha)) / \{ \cos^2 \alpha \cdot \cos (\alpha + \delta) \cdot [1 + ((\sin (\varphi - \delta) \cdot \sin (\varphi - \beta)) / ((\cos (\alpha + \delta) \cdot \cos (\alpha - \beta)))^{1/2}]^2 \} \quad (11)$$

Vodorovná a svislá složka napětí při aktivním zemním tlaku jsou pak dány:

$$\sigma_{ax} = \sigma_a \cdot \cos (\alpha + \delta); \quad \sigma_{az} = \sigma_a \cdot \sin (\alpha + \delta) \quad (12)$$

a kritická smyková plocha, po níž dochází k usmyknutí sypké zeminy, svírá s vodorovnou úhel θ , pro nějž platí:

$$\theta = \varphi + \varepsilon,$$

$$\text{kde } \cotg \varepsilon = \tan (\varphi - \alpha) + 1 / (\cos (\varphi - \alpha)) \cdot [(\sin (\varphi + \alpha) \cdot \cos (\alpha - \beta)) / (\sin (\varphi - \beta) \cdot \cos (\varphi - \delta))]^{1/2} \quad (13)$$

Je-li terén za rubem vodorovný ($\beta = 0$), pažíci konstrukce je svislá ($\alpha = 0$) a zanedbáme-li tření mezi zeminou a rubem konstrukce ($\delta = 0$), vychází známý vzorec:

$$K_a = \operatorname{tg}^2 (45^\circ - \varphi / 2) \quad (14)$$

Výslednice aktivního zemního tlaku se pak stanoví ze vztahu:

$$S_a = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot K_a \quad (15)$$

• Soudržné zeminy

Rozeznáváme 3 charakteristické typy soudržných zemín pro účely stanovení velikosti aktivního zemního tlaku:

- a) nekonsolidované soudržné zeminy plně nasycené vodou, u nichž proces konsolidace nastane v době, kdy zatěžují konstrukci a u nichž je smyková pevnost charakterizována: $\varphi_u = 0$, $c_u \neq 0$. V tomto případě lze pro napětí při aktivním zemním tlaku psát:

$$\sigma_a = \gamma \cdot z - 2c_u \cdot (1 + a / c_u)^{1/2} \quad (16)$$

kde a je přílnavost (adheze) zeminy ke konstrukci, jež se vyjadřuje $a = (0,2 - 0,8) \cdot c_u$.

Z rovnice (16) vyplývá, že pro hloubku ($0 < z < h_c$) je vodorovné napětí záporné, respektive nulové, tudíž vzorec platí pro hloubku $z > h_c$, kde:

$$h_c = 2c_u / \gamma \cdot (1 + a / c_u)^{1/2} \quad (17)$$

a pro $z < h_c$ je $\sigma_a = 0$;

- b) normálně konsolidované soudržné zeminy charakterizované $\varphi_{ef} \neq 0$, $c_{ef} \neq 0$, kde napětí při aktivním zemním tlaku lze vypočítat ze vztahu:

$$\sigma_a = \gamma \cdot z \cdot K_a - 2c_{ef} \cdot K_a^{1/2} \quad (18)$$

Vzorec platí pro $z > h_c$, kde:

$$h_c = 2c_{ef} / \gamma \cdot (1 / K_a)^{1/2} \quad (19)$$

pro $z < h_c$ je $\sigma_a = 0$;

- c) překonsolidované soudržné zeminy, které při poklesu napjatosti ztrácejí svoji smykovou pevnost; v tomto případě je třeba postupovat individuálně – vesměs podle b) s příslušně redukovanými smykovými parametry φ_{ef}, c_{ef} .

4.2.1.3. Pasivní zemní tlak

• Nesoudržné zeminy

Napětí při pasivním zemním tlaku nesoudržných zeminy v hloubce z , lze vypočítat:

$$\sigma_p = \sigma_z \cdot K_p \quad (20)$$

kde K_p je součinitel pasivního zemního tlaku

Výslednice pasivního zemního tlaku je pak dána:

$$S_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot K_p \quad (21)$$

• Soudržné zeminy

V případě suchých, nebo částečně nasycených soudržných zemin, jejichž smyková pevnost je dána efektivními parametry, lze napětí při pasivním zemním tlaku spočítat ze vztahu:

$$\sigma_p = \sigma_z \cdot K_p + 2c_{ef} \cdot K_p^{1/2} \quad (22)$$

a výslednice pasivního zemního tlaku bude:

$$\sigma_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot K_p^{1/2} + 2c_{ef} \cdot h \cdot K_p^{1/2} \quad (23)$$

Pasivní zemní tlak na konstrukce omezené šířky – jde o typický případ záporových a mikrozáporových stěn a též pilotových stěn volně stojících s velkou osovou vzdáleností pilot, kde pod dnem stavební jámy vzdoruje pasivní zemní tlak ovšem na omezenou šířku konstrukce b . V tomto případě se buď počítá se šířkou b danou průměrem vrtu pro záporu (mikrozáporu), nebo se použije empirických vztahů podle ČSN 73 0037. [3,10]

4.2.2. Přírůstky zemních tlaků od ostatního stálého i nahodilého zatížení

Stálé i nahodilé zatížení za rubem pažící konstrukce má vliv na přírůstky zemních tlaků. Náhradní zatížení povrchu terénu za silniční vozidla a stavební stroje o celkové hmotnosti do 24 t se uvažuje jako celoplošné neohraničené zatížení povrchu za rubem stěny o velikosti $p = 10$ kPa, přičemž musí být dodržena vzdálenost vozidla od pažící konstrukce $y \geq 3,0$ m. Je-li tato vzdálenost menší ($y = 0,6 - 3,0$ m), doporučuje se zvýšit zatížení v pásu širokém 3,0 m na následující velikosti:

- při vzdálenosti $y > 2,0$ m $p_1 = 20$ kPa
- při vzdálenosti $y > 1,0$ m $p_1 = 30$ kPa
- při vzdálenosti $y > 0,6$ m $p_1 = 40$ kPa.

Při hmotnosti vozidel a strojů převyšující 24 t zvýší se příslušná ztížení p , p_1 na:

- 1,2 násobek při hmotnosti vozidel 30 t
- 1,9 násobek při hmotnosti vozidel 45 t
- 2,5 násobek při hmotnosti vozidel 60 t.

Pokud se za rubem stěny pohybují pásové bagry nebo jeřáby, je třeba dodržet minimální vzdálenost pásů 0,6 m za rubem pažící konstrukce a účinek zatížení lze nahradit zatížením pásovým p_2 o šířce 1,50 m, a to o velikosti:

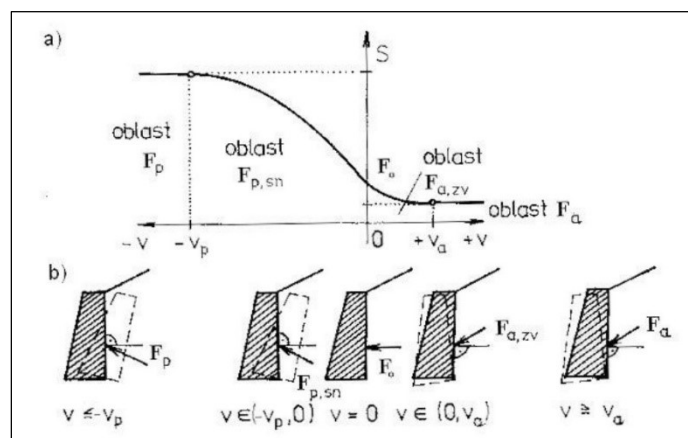
- $p_2 = 30$ kPa při hmotnosti stroje do 10 t
- $p_2 = 60$ kPa při hmotnosti stroje do 30 t
- $p_2 = 90$ kPa při hmotnosti stroje do 50 t.

Účinky osamělých břemen je třeba vyšetřit individuálně. Pro městskou hromadnou dopravu (tramvaj) lze počítat s plošným neohrazeným zatížením $p = 10 \text{ kPa}$, pokud je dodržena vzdálenost okraje tramvajového svršku od rubu pažící konstrukce $0,6 \text{ m}$. Přetížení od železniční dopravy opět za předpokladu min. vzdálenosti okraje železničního svršku od rubu pažící konstrukce $0,6 \text{ m}$ činí ve směru podélném 20 kPa v celé délce, přičemž v libovolném místě se na délku $6,4 \text{ m}$ zvýší na 39 kPa , v příčném směru se podélné zatížení roznáší na šířku $4,0 \text{ m}$.

Veškeré zde uvedené velikosti náhradního plošného zatížení jsou velikostmi charakteristickými. Při posuzování pažící konstrukce z hlediska mezního stavu únosnosti je třeba upravit je na velikosti návrhové (ve smyslu ČSN EN 1997-1). Náhradní zatížení od dopravy jsou zatížením nahodilým (pohyblivým). Zatížení od sousedních staveb a konstrukcí (např. zatížení v základové spáře sousedních staveb) se uvažuje skutečnou hodnotou v příslušné hloubce a vzdálenosti od pažící konstrukce, přičemž se jedná vesměs o zatížení stálé. [3]

4.2.3. Zemní tlaky na pažení

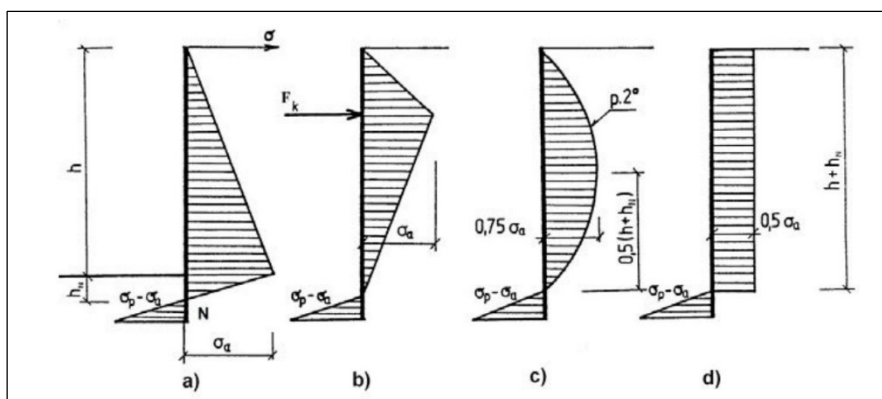
Rozdělení zemního tlaku podél pažící konstrukce charakterizuje obrazec napětí, který je závislý na tuhosti této konstrukce a charakteru deformace. Pokud je zamezeno jakémukoliv přetvoření konstrukce a zeminy, působí zemní tlak v klidu, jehož výslednice je kolmá na rub této konstrukce ($\delta = 0$). V případě jakékoliv deformace pažící konstrukce se její původní zatížení zemním tlakem v klidu mění a vzniká aktivní nebo pasivní zemní tlak.



Obr. 13 Závislost velikosti zemních tlaků na deformaci konstrukce

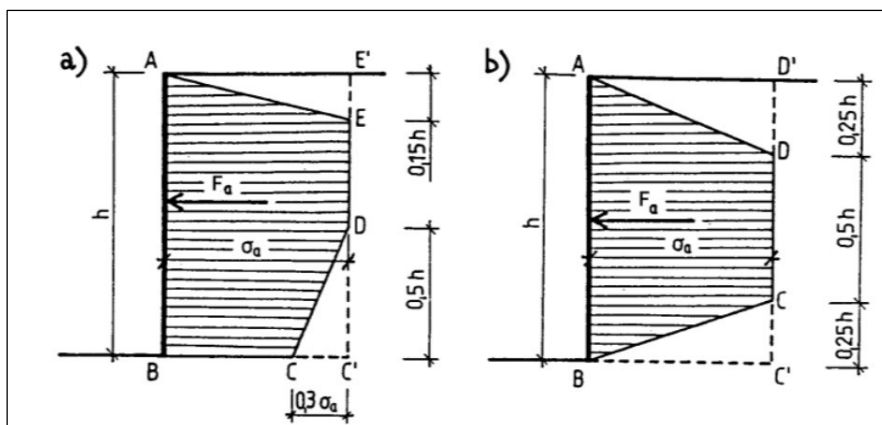
a – velikost zemního tlaku, b – směr deformace konstrukce

Vlivem pootočení, posunů a průhybů pažících konstrukcí dochází tedy k změně původního lineárního rozdělení napětí při zemním tlaku, tedy k redistribuci zatížení pažící konstrukce zemním tlakem. Příklad redistribuce původního (trojúhelníkového) rozdělení napětí při zemním tlaku v případě jednonásobně kotvené, nebo rozepržené pažící konstrukce je na *Obr. 14*. V případě vícenásobně kotvených a rozepržených pažících konstrukcí lze rozdělení napětí od zemního tlaku stanovit pouze velmi přibližně, např. jak je uvedeno na *Obr. 15*.



Obr. 14 Redistribuce aktivního tlaku u jedenkrát podepřených stěn:

a – klasický trojúhelník, b – trojúhelník s vrcholem v úrovni kotvy, c – parabola, d – obdélník

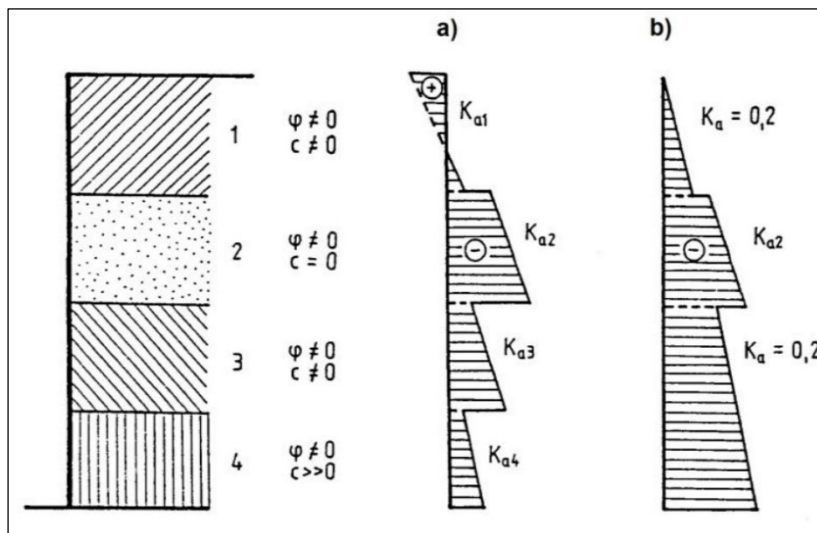


Obr. 15 Doporučené tlakové obrazce pro vícenásobně podepřené stěny

a – nesoudržné zeminy, b – soudržné zeminy

Při střídajících se vrstvách nesoudržných a soudržných zemín je třeba provést řešení pažící konstrukce jednak na zatížení s reálnými smykovými parametry v jednotlivých vrstvách, jednak na zatížení tzv. minimálním dimenzačním tlakem. Ten se určí tak, že v soudržných

vrstvách se velikost tlaků na hranicích vrstvy vypočte se součinitelem $K_a = 0,20$ jako pro zeminu nesoudržnou. Pro dimenzování konstrukce je směrodatný zatěžovací obrazec, který vyvodí nepříznivější vnitřní síly (Obr. 16). [3,10]



Obr. 16 Tlak na pažící stěnu ve vrstevnatém prostředí

4.2.4. Účinky podzemní vody

Účinky podzemní vody se na zatížení pažících konstrukcí projevují:

- změnou geotechnických vlastností základové půdy
- hydrostatickým tlakem
- proudovým tlakem.

Podzemní voda ovlivňuje zejména objemovou tíhu základové půdy a v případě soudržných zemin může mít vliv na velikost smykové pevnosti. Objemová tíha propustných (zejména hrubozrnných) zemin pod vodou je dána vztahem:

$$\gamma_{su} = (1 - n) \cdot (\gamma_s - \gamma_w) \quad (24)$$

Objemová tíha málo propustných zemin nasycených vodou (zejména jemnozrnných) je dána:

$$\gamma_{sat} = (1 - n) \cdot \gamma_s + S_r \cdot n \cdot \gamma_w \quad (25)$$

kde n je pórovitost zeminy,

γ_s je měrná tíha zrn zeminy (průměrně 27 kNm^{-3}),

γ_w je objemová tíha vody (10 kNm^{-3}),

S_r je stupeň nasycení (pro plně saturovanou zeminu $S_r = 1,0$).

Hydrostatický tlak se uplatňuje jak v případě propustných, tak i nepropustných zemin, protože vznikem deformace pažicí konstrukce nelze vyloučit vznik příslušného vodního sloupce za rubem stěny. Je-li však pata stěny vetknuta do nepropustného (resp. málo propustného) prostředí (s koeficientem filtrace $k < 10^{-7}$ až 10^{-8} ms^{-1}), předpokládá se, že podzemní voda pod patou pažicí konstrukce neproudí a vzniká pouze hydrostatický tlak s napětím:

$$\sigma_w = \gamma_w \cdot h_w \quad (26)$$

jež působí kolmo na rub pažicí konstrukce s výslednicí:

$$S_{w1} = \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot h_w^2 \quad (27)$$

Pokud je pažicí konstrukce pode dnem výkopu rovněž ve zvodnělé základové půdě, bude se výsledný zatěžovací obrazec skládat ze dvou částí – horní trojúhelníkové a spodní obdélníkové:

$$S_{w2} = \gamma_w \cdot h_w \cdot d_{pr} \quad (28)$$

V případě pažicí konstrukce vetknuté do propustné základové půdy vzniká pod patou proudění, které jednak ovlivňuje velikost hydrostatického tlaku, jednak je příčinou vzniku tzv. proudového tlaku. V důsledku ztrát vzniklých prouděním podzemní vody v okolí paty pažicí konstrukce předpokládáme, že napětí při hydrostatickém tlaku klesá k nule: [3,10]

$$S_{w2} = \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot h_w \cdot d \quad (29)$$

4.3. Přehled metod statického řešení

Pro posouzení pažících konstrukcí se používá statický výpočet. Konstrukce je zatěžována obecnými silami, které se rozkládají na vodorovné a svislé složky a musí být posouzena na obě tyto složky. Cílem statického výpočtu je určení vnitřních sil v jednotlivých prvcích této konstrukce, její deformace, vnější a vnitřní stability. Pro výpočet vnitřních sil pažící konstrukce lze použít těchto možností:

a) Řešení prutového modelu

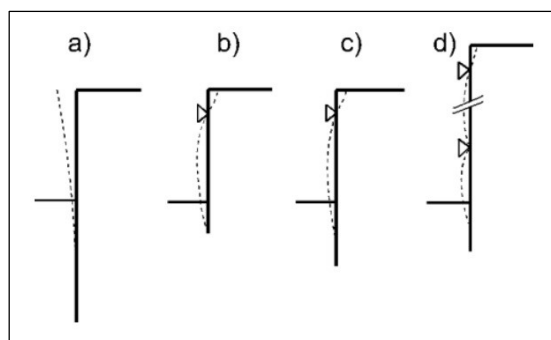
- pažící konstrukce je posuzována jako nosník uložený na tuhých podporách s předem definovaným zatížením (klasické řešení),
- pažící konstrukce je posuzována jako nosník na pružném podkladě, a to metodou tzv. závislých tlaků (závislých zejména na deformaci pažící konstrukce).

b) Numerické řešení matematického modelu

- pažící konstrukce je řešena jako rovinný (výjimečně prostorový) problém metodou konečných prvků, hraničních prvků či jinými metodami. Použití tohoto modelu umožňuje navíc odhadnout vliv navržené pažící konstrukce na sousední zástavbu.

4.3.1. Prutové modely na tuhých podporách s předem stanoveným zatížením

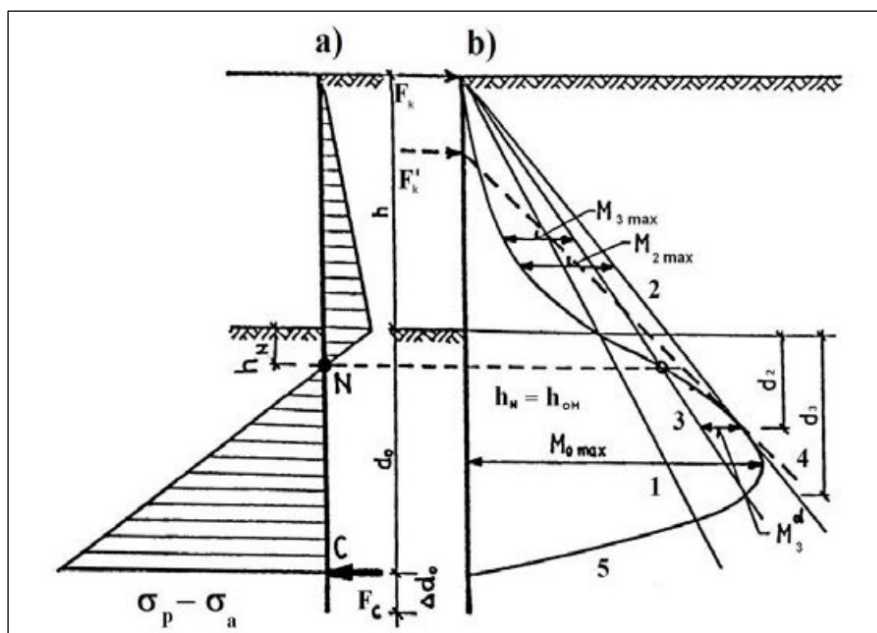
Jedná se o klasické postupy výpočtu pažících konstrukcí. Používají se především pro stanovení vnitřních sil a dimenzování prvků pažící konstrukce. Nejsou ovšem vhodné pro odhad jejich deformací. Ke klasickým postupům patří zejména tzv. Blumova metoda, která umožňuje jednoduché výpočty nepodepřených a jedenkrát podepřených pažících konstrukcí. V těchto případech se jedná o staticky určité konstrukce (*Obr. 17 a, b, c*). Tato metoda umožňuje taky výpočty vícekrát podepřených pažících konstrukcí, které jsou převedeny na výpočet spojitého nosníku (*Obr. 17 d*).



Obr. 17 Statické typy pažících konstrukcí:

a – vetknutí do dna, b – kotvení s volným uložením paty, c – kotvení s vetknutím paty,
d – vícenásobné podepření

Princip tohoto řešení pro nekotvenou a nerozepřenou pažící konstrukci je patrný z Obr. 18, přičemž se počítá s trojúhelníkovým rozdělením zatížení od zemních tlaků.



Obr. 18 Statické schéma pro nepodepřenou pažící konstrukci:

a – průběh zatížení, b – průběhy momentů;
1 – obecná základní čára momentové plochy, 2 – čára pro volné uložení v patě,
3 – čára pro vetknutí v patě, 4 – moment od kotvy pod vrcholem stěny,
5 – průběh momentu na stěně pouze vetknuté do dna, jinak nepodepřené

4.3.2. Nosník na pružném podkladě, metoda závislých tlaků

Metoda závislých tlaků vychází z předpokladu, že zemina popř. hornina v okolí podzemní stěny se chová jako ideální pružnoplastická Winklerova hmota. Tato hmota je určena jednak modulem reakce podloží k_h , který charakterizuje přetvoření v pružné oblasti a dále omezujícími deformacemi, při jejichž překročení se hmota chová jako ideálně plastická. Metoda závislých tlaků nahrazuje řešenou oblast nosníkem na pružných podporách (pérech).

Pro vlastní výpočet podzemní stěny jsou zavedeny tyto předpoklady:

- zemní tlak působící na stěnu může nabývat libovolné hodnoty mezi aktivním a pasivním tlakem – nemůže však z tohoto intervalu vybočit,
- na nedeformovanou konstrukci ($w = 0$) působí zatížení rovné tlaku v klidu.

Tlak působící na deformovanou konstrukci je určen vztahy:

$$\sigma = \sigma_r - k_h \cdot w$$

$$\sigma = \sigma_a \text{ pro } \sigma < \sigma_a$$

$$\sigma = \sigma_p \text{ pro } \sigma > \sigma_p$$

kde σ_r je tlak v klidu

k_h je modul reakce podloží

w je deformace konstrukce

σ_a je aktivní tlak

σ_p je pasivní tlak

Postup výpočtu je tedy následující:

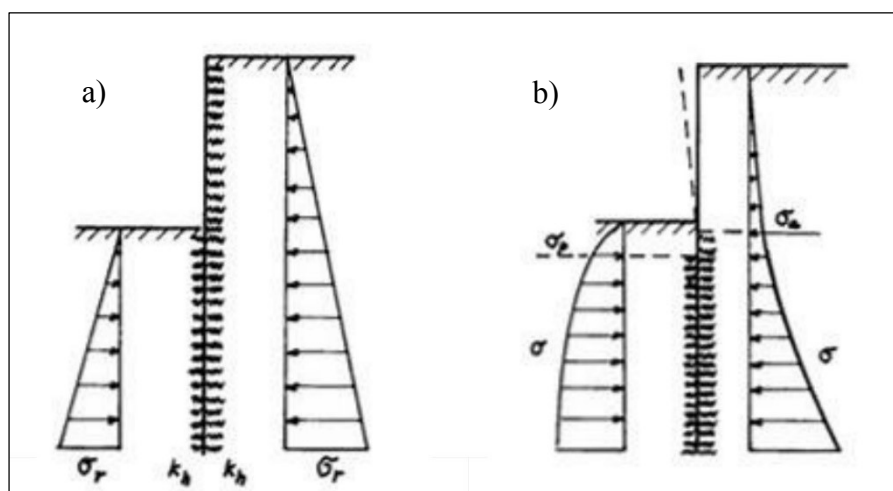
- všem prvkům se přiřadí modul reakce podloží k_h a konstrukce se zatíží tlakem v klidu (Obr. 19 a),

- provede se výpočet konstrukce a zkontroluje se splnění podmínek o velikosti tlaků na stěnu. V místech, kde tyto podmínky nejsou splněny, se přiřadí hodnota $k_h = 0$ a stěna se zatíží aktivním resp. pasivním tlakem (Obr. 19 b).

Iterace probíhá tak dlouho, než jsou všechny podmínky splněny.

Při výpočtu dalších fází budování se uvažuje s plastickou deformací stěny. Z tohoto důvodu je nutné vždy zadávat jednotlivé fáze budování, které odpovídají skutečnému postupu budování konstrukce.

Model je zaměřen na rychlý návrh pažení, dává dobrý popis namáhání všech jeho částí, i přijatelný popis deformace pažení. Software, který pracuje na principu metody závislých tlaků je program GEO5. [3,11]



Obr. 19 Rozdělení zatížení po délce konstrukce

a – schéma konstrukce před první iterací, b – schéma konstrukce během iterace

4.3.3. Numerické metody

Numerické metody pracují nejčastěji na základě metody konečných prvků (MKP). Ta se stala v podstatě jedinou možností pro posouzení mezního stavu použitelnosti u složitějších konstrukcí. Používají se pro předpověď přetváření konstrukce během její výstavby a použití.

U geotechnických úloh, které souvisí s pažením stavebních jam, je nutné brát ohledy na jednotlivá hlediska jejich návrhu a posouzení jako je např.:

- geometrický tvar navrhované konstrukce, okolní zástavby, jednotlivých vrstev základové půdy
- správná volba vlastností základové půdy
- vliv technologie provádění geotechnických konstrukcí

I při využívání numerických metod je nutné používat zdravý rozum a mít k dispozici kvalitní a podrobný geotechnický průzkum. Rozsah průzkumu může ovlivnit míru nejistoty, kterou jsou zatíženy jednotlivé parametry, ale nelze ji úplně vyloučit.

Jeden z nejrozšířenějších a nejpropracovanějších výpočetního systému v geotechnice, který pracuje s MKP, je program PLAXIS, Midas GTS. [3]

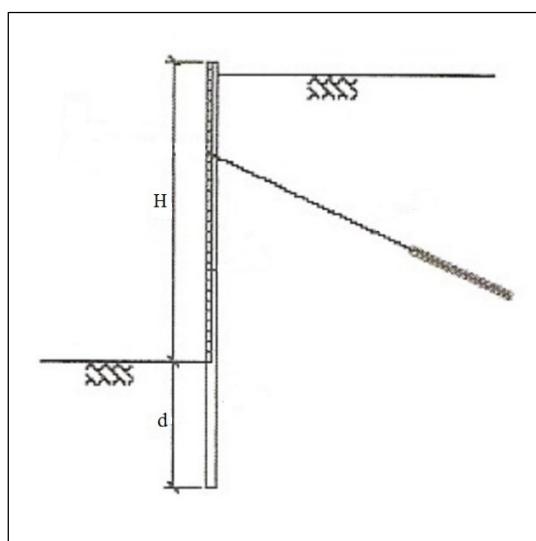
5. Statický posudek konstrukce záporového pažení

Praktická část mé bakalářské práce je věnována výpočtu konstrukce záporového pažení. Jak je vidět na *Obr. 20*, jedná se o jednonásobně kotvenou pažící konstrukci.

Zadaná konstrukce byla počítána dvěma způsoby. První způsob byl výpočet na nosníkovém modelu, který byl zatížen maximálními zemními tlaky bez uvažování přetvoření stěny. Druhý způsob řešení konstrukce byl proveden pomocí programu GEO5, který pracuje na základě metody závislých tlaků. Zde se uvažuje se závislosti mezi napětím a přetvořením stěny.

Zadané prostředí:

- jednonásobně kotvená konstrukce záporového pažení
- dočasné pažení
- hloubka stavební jámy $H = 5 \text{ m}$
- hloubka kotevní řady $h_{\text{kot}} = 1 \text{ m}$
- homogenní prostředí, bez vlivu hladiny podzemní vody
- nesoudržná zemina S4 – písek hlinitý (charakteristické parametry: objemová tíha přirozeně uložené zeminy $\gamma = 18 \text{ kNm}^{-3}$, úhel vnitřního tření $\varphi = 29^\circ$, soudržnost $c = 0$)



Obr. 20 Zadaní konstrukce záporového pažení

5.1. Řešení 1 – nosníkový model

a) Výpočet návrhových parametrů:

Pomocí dílčích součinitelů γ byly redukovány návrhové hodnoty zatížení vyvolaných zeminou. Vycházelo se z metodiky posouzení podle ČSN EN 1997-1, Návrhového přístupu 1, kombinace 2.

Ze studie Ing. Jana Kose, CSc. [12] je zřejmé, že úhly vnitřního tření byly nejméně redukovány podle ČSN 73 1001. Eurokód redukuje více, přičemž pouze návrhové přístupy 3 a identický 1, kombinace 2 jsou akceptovatelné. NP 2 a pro aktivní tlak identický NP 1, kombinace 1 se jeví jako nevhodné pro „geotechnická“ zatížení. To především z toho důvodu, že se dílčí součinitelé uplatňují jen na zatížení, ostatní součinitelé jsou rovny 1,0. Kdežto u NP 3 a NP 1, kombinace 2 se dílčí součinitelé uplatňují i na materiálové charakteristiky (parametry zemin) a proměnné zatížení, ostatní součinitelé jsou rovny 1,0. Stejně dílčí součinitele byly použity i v programu GEO5 pro co nejpodobnější výsledky.

- $\gamma_\varphi = 1,25; \gamma_m = 1,0$

$$\varphi_d = \arctg \frac{tg \varphi_k}{\gamma_\varphi} = \arctg \frac{tg 29}{1,25} = 23,91^\circ$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_k}{\gamma_m} = \frac{18}{1,0} = 18 \text{ kNm}^{-3} \quad [13]$$

b) Zatížení zemním tlakem:

$$\text{součinitel aktivního tlaku: } K_a = tg^2 \left(45 - \frac{\varphi_d}{2} \right) = tg^2 \left(45 - \frac{23,91}{2} \right) = 0,423$$

$$\text{součinitel pasivního tlaku: } K_p = tg^2 \left(45 + \frac{\varphi_d}{2} \right) = tg^2 \left(45 + \frac{23,91}{2} \right) = 2,363$$

c) Momentová podmínka k působišti kotvy, výpočet hloubky vetknutí d:

$$\sum M_s = 0; d = ?$$

$$-S_p \cdot r_p + S_a \cdot r_a = 0$$

$$-\frac{1}{2} \cdot \sigma_p \cdot d \cdot r_p + \frac{1}{2} \cdot \sigma_a \cdot (H + d) = 0$$

$$-\frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot K_p \cdot d^2 \cdot \left(\frac{2}{3}d + (H - h_{kot}) \right) + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot K_a \cdot (H + d)^2 \cdot \left(\frac{2}{3}(H + d) - h_{kot} \right) = 0$$

$$-\frac{1}{2} \cdot 18 \cdot 2,363 \cdot d^2 \cdot \left(\frac{2}{3}d + (5 - 1) \right) + \frac{1}{2} \cdot 18 \cdot 0,423 \cdot (5 + d)^2 \cdot \left(\frac{2}{3}(5 + d) - 1 \right) = 0$$

$$-11,64d^3 - 50,45d^2 + 152,267d + 222,043 = 0$$

$$d = 2,793 \text{ m}$$

d) Podmínka vodorovných sil, velikost vodorovné síly v místě kotvení:

$$\sum F_x = 0; F_h = ?$$

$$S_p - S_a + F_h = 0$$

$$\frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot K_p \cdot d^2 - \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot K_a \cdot (H + d)^2 + F_h = 0$$

$$\frac{1}{2} \cdot 18 \cdot 2,363 \cdot 2,793^2 - \frac{1}{2} \cdot 18 \cdot 0,423 \cdot (5 + 2,973)^2 + F_h = 0$$

$$F_h = 65,3 \text{ kN}$$

e) Výpočet vnitřních sil:

- nulové napětí v hloubce $d_{\sigma=0}$:

$$\sum \sigma = 0; d_{\sigma=0} = ?$$

$$\sigma_p - \sigma_a = 0$$

$$\gamma \cdot K_p \cdot d_{\sigma=0} - \gamma \cdot K_a \cdot (H + d_{\sigma=0}) = 0$$

$$d_{\sigma=0} = \frac{K_a \cdot H}{K_p - K_a} = \frac{0,423 \cdot 5}{2,363 - 0,423} = 1,09 \text{ m}$$

- maximální posouvající síla v hloubce $d_{\sigma=0}$:

$$\begin{aligned} V_{max} &= S_p - S_a + F_h = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot K_p \cdot d_{\sigma=0}^2 - \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot K_a \cdot (H + d_{\sigma=0})^2 + F_h \\ &= \frac{1}{2} \cdot 18 \cdot 2,363 \cdot 1,09^2 - \frac{1}{2} \cdot 18 \cdot 0,423 \cdot (5 + 1,09)^2 + 65,3 = -50,626 \text{ kN} \end{aligned}$$

- nulová posouvající síla v hloubce $d_{V=0}$:

$$\sum S = 0; d_{V=0} = ?$$

$$F_h - S_a = 0$$

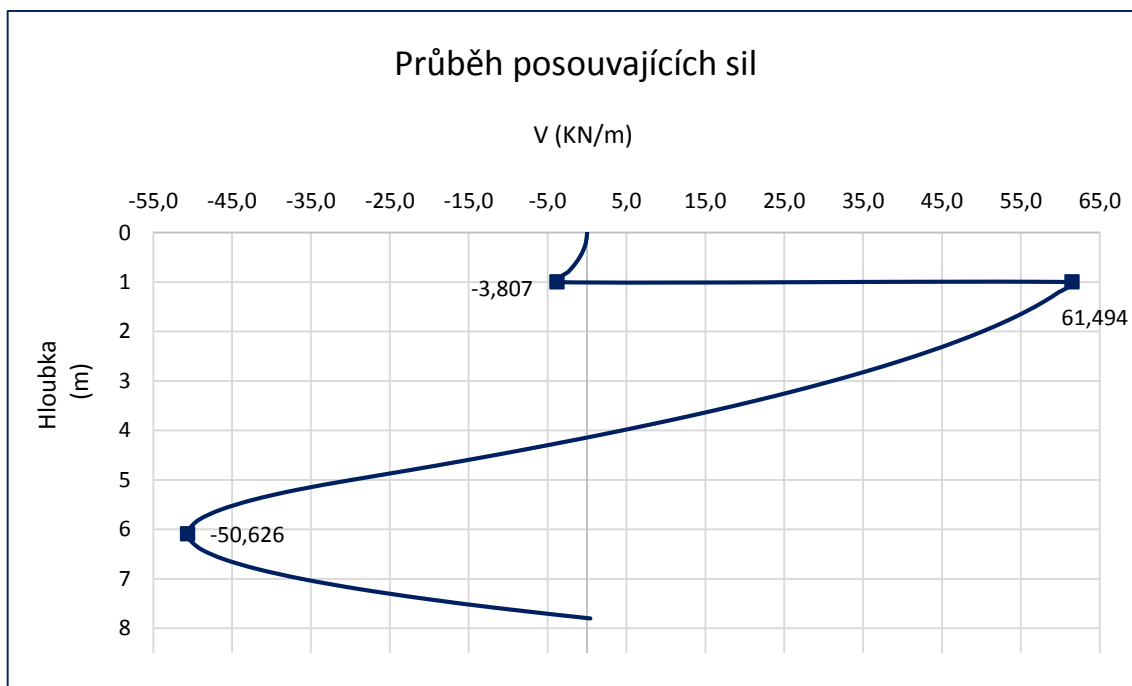
(Pozn. Hloubka $d_{V=0}$ se nachází nad úrovní dna stavební jámy – s pasivním zemním tlakem se nepočítá.)

$$F_h - \frac{1}{2} \gamma \cdot K_a \cdot d_{V=0}^2 = 0$$

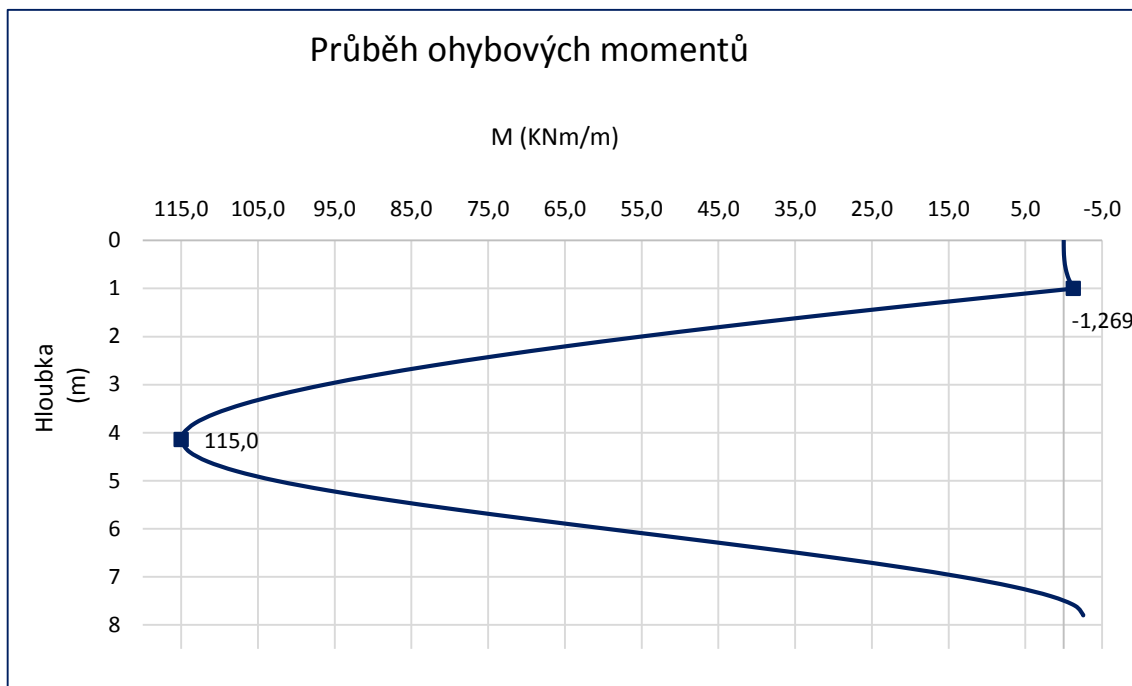
$$d_{V=0} = \sqrt{\frac{F_h}{\frac{1}{2} \gamma \cdot K_a}} = \sqrt{\frac{65,3}{\frac{1}{2} 18 \cdot 0,423}} = 4,142 \text{ m}$$

- maximální ohybový moment v hloubce $d_{V=0}$:

$$\begin{aligned} M_{max} &= F_h \cdot (d_{V=0} - h_{kot}) - S_a \cdot \frac{1}{3} d_{V=0} = F_h \cdot (d_{V=0} - h_{kot}) - \frac{1}{6} \gamma \cdot K_a \cdot d_{V=0}^3 \\ &= 65,3 \cdot (4,142 - 1) - \frac{1}{6} 18 \cdot 0,423 \cdot 4,142^3 = 115 \text{ kNm} \end{aligned}$$



Graf č. 1 Průběh posouvajících sil na zadané konstrukci záporového pažení.



Graf č. 2 Průběh ohybových momentů na zadané konstrukci záporového pažení.

f) Návrh konstrukce:

Byly zvoleny ocelové válcované záporny I 320 v osové vzdálenosti 1,5 m, které jsou vkládány do vrtu průměru 400 mm. Kotvy vy zvoleny pramencové 3 x L_p 15,7 (ocel 1570/1770 MPa), kořen délky 4 m. Pažiny jsou dřevěné.

g) Posouzení konstrukce:

Záporny [14, 15]

I 320, S 355 JR

$$A = 7770 \text{ mm}^2, W_{pl,y} = 782 \cdot 10^3 \text{ mm}^3,$$

$$b = 131 \text{ mm}, t_w = 11,5 \text{ mm}, t_f = 17,3 \text{ mm},$$

$$r = 11,5 \text{ mm}$$

- vnitřní síly: $M_{max} = 115 \text{ kNm/m}$

$$V_{max} = 50,626 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed} = M_{max} \cdot l \cdot \gamma_G \quad \text{kde } l \text{ je osová vzdálenost zápor}$$

$$M_{Ed} = 115 \cdot 1,5 \cdot 1,35 = 232,875 \text{ kNm} \quad \gamma_G \text{ je součinitel stálého zatížení}$$

$$V_{Ed} = V_{max} \cdot l \cdot \gamma_G$$

$$V_{Ed} = 50,626 \cdot 1,5 \cdot 1,35 = 102,518 \text{ kN}$$

- ohyb:

$$M_{pl,Rd} \geq M_{Ed}$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{f_{yk} \cdot W_{pl,y}}{\gamma_{M0}} = \frac{355 \cdot 10^3 \cdot 782 \cdot 10^{-6}}{1,0} = 277,61 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 232,875 \text{ kNm}$$

⇒ Vyhovuje

- smyk:

$$V_{pl,Rd} \geq 2 \cdot V_{Ed}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{3834,25 \cdot 10^{-6} \cdot 355 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 785,87 \text{ kN} \geq 2 \cdot V_{Ed} = 205,04 \text{ kN}$$

⇒ Vyhovuje

Pozn. A_v je smyková plocha která se spočítá daným vzorcem:

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f = 7770 - 2 \cdot 131 \cdot 17,3 +$$

$$+ (11,5 + 2 \cdot 11,5) \cdot 17,3 = 3834,25 \text{ mm}^2$$

Pažiny [14,16]

Pažiny byly navrhovány na dva průřezy. Jeden průřez byl navržen pro zatížení u dna výkopu a druhý průřez byl navržen pro zatížení v polovině výšky stavební jámy, aby horní pažiny nebyly zbytečně předimenzované.

- výpočet zatížení:

u dna výkopu: $q_1 = \gamma \cdot K_a \cdot H = 18 \cdot 0,423 \cdot 5 = 38,07 \text{ kNm}^{-2}$

výpočtové zatížení: $q_{d1} = q_1 \cdot \gamma_G = 38,07 \cdot 1,35 = 51,4 \text{ kNm}^{-2}$

v polovině výkopu: $q_2 = \gamma \cdot K_a \cdot \frac{H}{2} = 18 \cdot 0,423 \cdot 2,5 = 19,04 \text{ kNm}^{-2}$

výpočtové zatížení: $q_{d2} = q_1 \cdot \gamma_G = 19,04 \cdot 1,35 = 25,7 \text{ kNm}^{-2}$

- návrh tloušťky pažiny:

u dna výkopu: $V_{Ed,1} = \frac{1}{2} \cdot q_{d1} \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 51,4 \cdot 1,5 = 38,55 \text{ kN}$

$$M_{Ed,1} = \frac{1}{8} \cdot q_{d1} \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 51,4 \cdot 1,5^2 = 14,46 \text{ kNm}$$

$$W_1 = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h_1^2 = \frac{1}{6} \cdot 1,0 \cdot 0,08^2 = 1,07 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow h_1 = 0,08 \text{ m}, C 27 \text{ (třída pevnosti dřeva podle EN 338)}$$

v polovině výkopu: $V_{Ed,2} = \frac{1}{2} \cdot q_{d2} \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 25,7 \cdot 1,5 = 19,28 \text{ kN}$

$$M_{Ed,2} = \frac{1}{8} \cdot q_{d2} \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 25,7 \cdot 1,5^2 = 7,23 \text{ kNm}$$

$$W_2 = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h_2^2 = \frac{1}{6} \cdot 1,0 \cdot 0,06^2 = 6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow h_2 = 0,06 \text{ m}, C 24$$

- ohyb:

$$\sigma_{md} \leq f_{md}$$

u dna výkopu: $\sigma_{md,1} = \frac{M_{Ed,1}}{W_1} = \frac{14,46 \cdot 10^{-3}}{1,07 \cdot 10^{-3}} = 13,51 \text{ MPa}$

$$f_{md,1} = k_{mod} \cdot \frac{f_{mk,1}}{\gamma_m} = 0,7 \cdot \frac{27}{1,3} = 14,53 \text{ MPa}$$

\Rightarrow Vyhovuje

v polovině výkopu: $\sigma_{md,2} = \frac{M_{Ed,2}}{W_2} = \frac{7,23 \cdot 10^{-3}}{6 \cdot 10^{-4}} = 12,05 \text{ MPa}$

$$f_{md,2} = k_{mod} \cdot \frac{f_{mk,2}}{\gamma_m} = 0,7 \cdot \frac{24}{1,3} = 12,92 \text{ Mpa}$$

⇒ Vyhovuje

- smyk:

$$\tau_{Vd} \leq f_{Vd}$$

u dna výkopu: $\tau_{Vd,1} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed,1}}{b \cdot h_1 \cdot k_{cr}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{38,55}{1,0 \cdot 0,08 \cdot 0,67} = 1,079 \text{ MPa}$

$$f_{Vd,1} = k_{mod} \cdot \frac{f_{Vk,1}}{\gamma_m} = 0,7 \cdot \frac{2,8}{1,3} = 1,508 \text{ Mpa}$$

⇒ Vyhovuje

v polovině výkopu: $\tau_{Vd,2} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed,2}}{b \cdot h_2 \cdot k_{cr}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{19,28}{1,0 \cdot 0,06 \cdot 0,67} = 0,719 \text{ MPa}$

$$f_{Vd,2} = k_{mod} \cdot \frac{f_{Vk,2}}{\gamma_m} = 0,7 \cdot \frac{2,5}{1,3} = 1,346 \text{ Mpa}$$

⇒ Vyhovuje

Kotva [14]

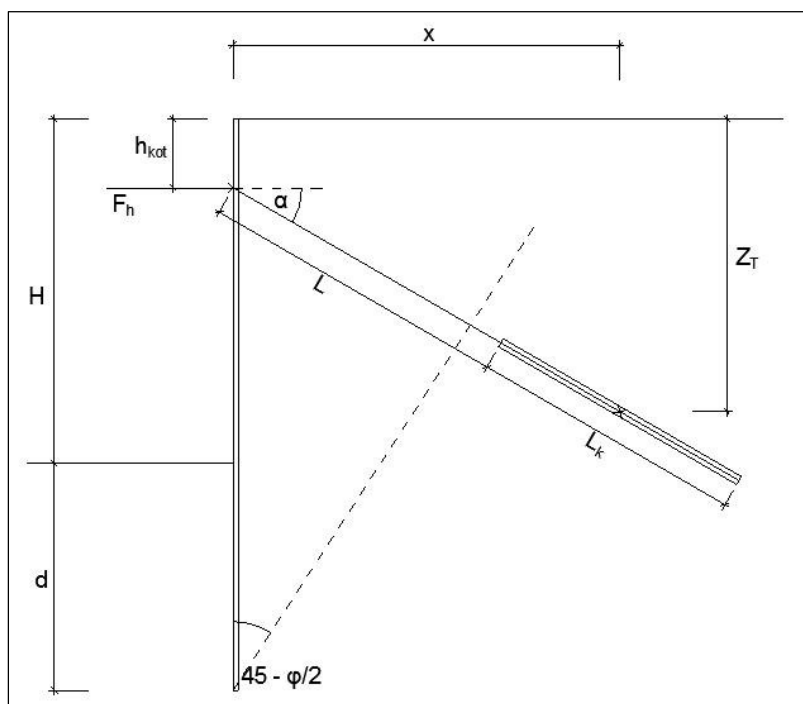
- návrh: pramencová kotva 3 x L_p 15,7 (ocel 1570/1770 MPa).

- osová síla v kotvě:

$$F_k = \frac{F_h}{\gamma_f \cdot \cos \alpha} = \frac{65,3}{1,2 \cdot \cos 30^\circ} = 62,835 \text{ kN}$$

- minimální hloubka těžiště kořene kotvy:

$$Z_T = h_{kot} + \left((L - l_k) + \frac{l_k}{2} \right) \cdot \sin \alpha = 1 + \left((8,5 - 4) + \frac{4}{2} \right) \cdot \sin 30^\circ = 4,25 \text{ m}$$



$$H = 5 \text{ m} \quad F_h = 65,3 \text{ m}$$

$$d = 2,8 \text{ m} \quad \alpha = 30^\circ$$

$$h_{kot} = 1 \text{ m} \quad \varphi = 23,91^\circ$$

$$Z_T = 4,25 \text{ m}$$

$$x = 5,63 \text{ m}$$

$$L = 4,5 \text{ m}$$

$$L_k = 4 \text{ m}$$

Obr. 21 Schéma kotvené pažící konstrukce

5.2. Řešení 2 – software GEO5

Při řešení záporové konstrukce pomocí softwaru GEO5 byly využívány programy „Pažení návrh“ a „Pažení posudek“.

Program „Pažení návrh“ se používá k návrhu pažících, kotvených i nekotvených konstrukcí (štetové, záporové, podzemní a pilotové stěny). Výstupem výpočtu jsou potřebné délky konstrukce v zemině jak pro patu vetknutou, nebo volně uloženou, síly v kotvách a průběh vnitřních sil na konstrukci. Tento program nám dává předběžný odhad o chování pažící konstrukce.

Komplexnější řešení nám umožňuje program „Pažení posudek“. Pomocí něj lze získat přesné chování konstrukce během výstavby, určení deformací konstrukce, vnitřních sil na konstrukci a dopnutí kotev. Zatížení konstrukce zemním tlakem odpovídá deformaci konstrukce, což umožňuje modelovat reálné chování konstrukce a vede k hospodárným návrhům. Výpočet konstrukce respektuje postup výstavby a jednotlivé stavy postupného budování stěny včetně postupného vývoje deformací a dopnutí kotev. [11]

V programu „Pažení návrh“ byly zadány vstupní data:

- Rám „Nastavení“ – zvolen návrhový přístup 1.
- Rám „Profil“ – určena hloubka rozhraní.
- Rám „Zeminy“ – byla přiřazena zemina S4 – písek hlinitý podle zadaného příkladu.
- Rám „Přiřazení“ – provedeno přiřazení zeminy k danému rozhraní.
- Rám „Geometrie“ – zadaná hloubku jámy 5,0 m.

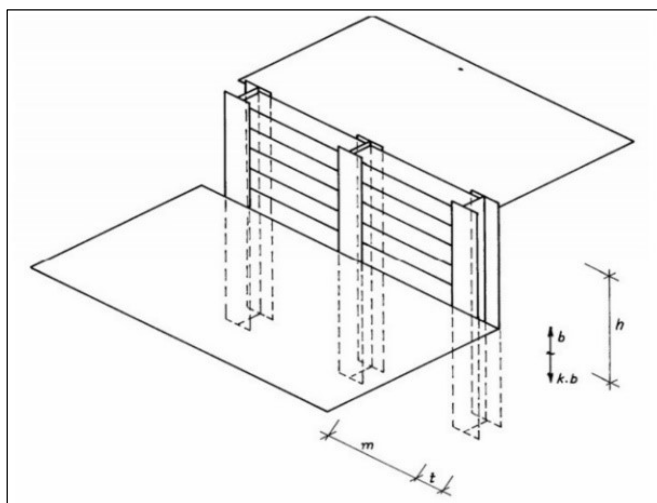
Dále byl zde určen koeficient redukce tlaku pod dnem jámy k . Při výpočtu záporového pažení se zemní tlaky počítají do hloubky stavební jámy na 1 bm šířky konstrukce. Pod dnem stavební jámy se zemní tlaky redukují právě součinitelem redukce k . Ten lze přibližně stanovit podle vztahu:

$$k = \frac{t}{t+m}$$

kde m je podélná vzdálenost zápor

t je šířka záporu

Obr. 22 Záporové pažení,
koeficient redukce tlaku pod dnem
stavební jámy.[11]



Skutečná velikost součinitele redukce k je zhruba dvakrát až třikrát vyšší než se vypočte podle uvedeného vzorce. [11] V mém případě byl použit součinitel redukce o velikosti:

$$k = \frac{0,4}{0,4+1,1} = 0,266 \rightarrow k \cong 0,5 \text{ (0,4 – průměr vrtu pro záporu)}$$

- Rám „Kotva“ – pro konstrukci byla navržena jedna řada kotev v úrovni 1,0 m pod původním terénem s osovou vzdáleností 3 m. Dále byl zadán sklon kotvy (30 stupňů) a délka kotvy, která nemá v programu „Pažení návrh“ vliv na výpočet. Slouží zde pouze pro vizualizaci.

- Rám „Výpočet“ – konstrukce zvolena jako stěna s patou volně uloženou, a proveden výpočet podle kombinace 2. Dále bylo počítáno s minimálním dimenzačním tlakem o hodnotě 0,20, pro bezpečnost konstrukce v podpovrchové oblasti soudržné zeminy.

V rámci návrhu záporového pažení byla pro mě nejdůležitější především hloubka vetknutí konstrukce do zeminy, vnitřní síly a také síla v kotvě. Z výpočtu vycházejí hodnoty těchto veličin takto:

- Délka konstrukce – 8,22 m
- Nutná hloubka v zemině – 3,22 m
- Maximální moment – 112,29 kNm/m
- Maximální posouvající síla – 60,67 kN/m
- Síla v kotvě – 223,36 kN

Průběh vnitřních sil na konstrukci viz *příloha č. 1*.

V programu „**Pažení posudek**“ bylo usnadněno zadávání dat tím, že se zkopírovala vstupní data z programu „Pažení návrh“.

- Rám „Nastavení“ – kontrola správných vstupů.
- Rám „Modul K_h “ – vybírána možnost počítat podle Schmitta. Tento výpočet používá vztah závislý na edometrickém modulu zeminy a tuhosti konstrukce. Modul K_h určuje velikost deformace, která je potřebná k dosažení aktivního nebo pasivního tlaku.
- Rám „Geometrie“ – zde byl zvolen průřez záporny. I 320
- Rám „Materiál“ – zde byla zvolena konstrukční ocel záporny (S 355)
- Rám „Hloubení“ – byly prováděny jednotlivé fáze realizace záporové konstrukce.

Fáze budování: 1. hloubení do 1,0 m.

2. provedení kotev, definovány její potřebné parametry:

(délka kořene kotvy – $l_k = 4\text{ m}$, volná délka kotvy – $l = 4,5\text{ m}$, sklon – $\alpha = 30^\circ$, osová vzdálenost kotev – $b = 3\text{ m}$, hloubka uložení kotvy – $z = 1\text{ m}$, průměr kotvy – $d = 30\text{ mm}$)

3. hloubení do 3,0 m

4. hloubení do 4,0 m

5. hloubení na dno jámy 5,0 m

- Rám „Výpočet“ – postupně s budováním jednotlivých fází byl prováděn výpočet. Byly získány průběhy vnitřních sil po délce konstrukce a definitivní přetvoření kotvené konstrukce. (viz Přílohy č. 2, 3, 4)

$$\text{Max. posouvající síla} - Q_{\max} = 45,69 \text{ kN}$$

$$\text{Max. ohybový moment} - M_{\max} = 75,96 \text{ kNm}$$

$$\text{Max. deformace} - u_{\max} = 25,9 \text{ mm}$$

- Rám „Vnitřní stabilita“ – posouzení stability kotvy. Bylo zjištěno, že kotva vyhovuje. (Příloha č. 5)
- Rám „Vnější stabilita“ – posouzení celkové stability konstrukce pomocí programu „Stabilita svahu“. Výsledek je, že celková stabilita vyhovuje. (Příloha č. 6)

Po srovnání výsledků obou způsobů výpočtu si lze povšimnout, že řešení s prutovým nosníkem dosahuje větších vnitřních sil, než řešení pomocí programu GEO5. (Tab. č. 1) U posouvajících sil je mezi výsledky rozdíl asi 25%, kdež to u ohybových momentů se rozdíl vyšplhal až na 34%. Z toho vyplývá, že výsledný návrh se v případě jednoduchých úloh stává bezpečnější, ovšem je předimenzován. Zadaná konstrukce nicméně vyhovuje.

	Maximální posouvající síla V_{\max} [kN/m]	Maximální ohybový moment M_{\max} [kNm/m]
Nosníkový model	61,49	115,00
Program GEO5	45,69	75,96
Rozdíl výsledků	25,7 %	33,9 %

Tabulka č. 1. Srovnání výsledků maximálních hodnoty vnitřních sil.

6. Závěr

Tato bakalářská práce věnovaná záporovému pažení měla za úkol představit tuto konstrukci používanou při stabilizaci stěn stavebních jam. Proto může sloužit jako přehled možností provádění konstrukce záporového pažení. Technologie postupu realizace závisí na způsobu ukládání záporu do zeminy. Záporu jsou vkládány do předem vyvrtaných vrtů nebo jsou pomocí beranících zařízení do zeminy zabírány nebo zavibrovány. Samotná konstrukce pažení se skládá z ocelových nosníků – zápor, převážně dřevěného pažení a často je taky doplněna o kotevní nebo rozpěrný systém.

Podle vlastností okolního prostředí, podmínek realizace a účelu použití se volí konstrukční řešení záporového pažení. Odtud vyplývá statické řešení, které opět závisí na řadě faktorů v okolí výstavby. Při návrhu pažící konstrukce je nutné brát na tyto faktory ohledy. Pažící konstrukce bývá v horninovém prostředí zatížena zemními tlaky, vlivy podzemních vod nebo přírůstky zemních tlaků od ostatního stálého i nahodilého zatížení. Pro posouzení navržené konstrukce bývá používáno statických výpočtů. Jejich cílem je určit průběh vnitřních sil na konstrukci, její deformace a stabilitu. Pro výpočet vnitřních sil na konstrukci lze použít několik možností. Jednou z nich je řešení prutového modelu, kde konstrukci posuzujeme jako nosník na tuhých podporách, nebo kde je pažící konstrukce uložena jako nosník na pružném podkladě (metoda závislých tlaků). Další možností je řešení pomocí matematického modelu, který pracuje na metodě konečných nebo hraničních prvků.

V praktické části je prostor věnován ukázce praktického výpočtu záporového pažení. Ukázkový příklad byl řešen dvěma způsoby. První způsob byl výpočet na nosníkovém modelu, který byl zatížen maximálními zemními tlaky bez uvažování přetvoření stěny. Druhý způsob řešení konstrukce byl proveden pomocí programu GEO5, který pracuje na základě metody závislých tlaků. Zde se uvažuje se závislosti mezi napětím a přetvořením stěny.

Výsledky obou výpočetních způsobů vykazují jisté odlišnosti, ty byly předpokládány a jsou dány odlišným přístupem k řešení samotné úlohy. Rámcově nepříznivější výsledky podává řešení s prutovým nosníkem, který je zatížen plnými tlaky. Výsledný návrh se tak stane v případě jednoduchých úloh bezpečnější, předimenzován. Uvedený závěr nelze zobecnit. Při nepříznivých kombinacích prostorové dispozice pažení a všech dalších parametrů

vstupujících do interakce pažení s horninovým prostředím může nastat stav, kdy použití zjednodušeného prutového nosníku zatíženého plným tlakem nemusí podat relevantní výsledky. Konstrukce tak může být poddimenzována a tím ohrožena její stabilita. Po srovnání výsledků obou způsobů výpočtu je zřejmé, že řešení s prutovým nosníkem dosahuje větších vnitřních sil, než řešení pomocí programu GEO5. U posouvajících sil je mezi výsledky rozdíl asi 25%, kdež to u ohybových momentů se rozdíl vyšplhal až na 34%. Z toho vyplývá, že návrh je poněkud předimenzován. Zadaná konstrukce je ovšem vyhovující.

Seznam použité literatury

Seznam literatury

- [1] HULLA J., P. TURČEK, *Zakládání staveb*. Bratislava: Jaga group, s.r.o., 2005. ISBN 80-8076-023-3.
- [2] HULLA J., P. TURČEK, *Zakladanie stavieb*. Bratislava: Jaga group, s.r.o., 1998. ISBN 80-88905-05-2.
- [3] MASOPUST J., *Navrhování základových a pažicích konstrukcí příručka k ČSN EN 1997*. Praha: Informační centrum ČKAIT, s.r.o., 2012. ISBN 978-80-87438-31-2.
- [5] BAŽANT Z., *Zakládání staveb*, 2. přeprac. vydání. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1969.
- [10] SARSBY R., *Enviromental geotechnics*. London: Thomas Telford Ltd, 2000. ISBN 0-7277-2752-4
- [12] KOS J., Pažicí konstrukce dle Eurokódu 7, *Sborník 41. konference Zakládání staveb/Foudations/Grunbau*. Brno: Česká geotechnická společnost, 2013, s. 87-89.

Internetové zdroje

- [4] ZAKLÁDÁNÍ STAVEB a.s. Pažení stavebních jam/záporové pažení. *Zakladani.cz* [online]. © 2008 – 2015 [cit. 2015-02-15]. Dostupné z: <http://www.zakladani.cz/cz/pazeni-stavebnich-jam-zaporove-pazeni>
- [6] BARTÁK, Jiří. Stavební jámy. In: *fsv.cvut.cz* [online]. Říjen 2009 [cit. 2015-02-27] Dostupné z: <http://departments.fsv.cvut.cz/k135/data/wp-upload/2009/10/stavebni-jamy-1.pdf>
- [7] KATEDRA TECHNOLOGIE STAVEB. Podklady k výuce. *fsv.cvut.cz* [online]. © 2007 – 2015 [cit. 2015-02-27] Dostupné z: <http://technologie.fsv.cvut.cz/aitom/podklady/online-zakladani/textjama331.html>

- [8] ZAKLÁDÁNÍ GROUP a.s. Zápory. *Zakladanigroup.cz* [online]. © 2009 [cit. 2015-04-21] Dostupné z: http://www.zakladanigroup.cz/img_tech/xpazber1.pdf
- [9] ZAKLÁDÁNÍ STAVEB a.s. Beranění a vibrování. *Zakladani.cz* [online]. © 2008 – 2015 [cit. 2015-02-25]. Dostupné z: <http://www.zakladani.cz/cz/beraneni-a-vibrovani>
- [11] FINE spol. s.r.o. Metoda závislých tlaků. *Fine.cz* [online]. © 2007 – 2015 [cit. 2015-04-26] Dostupné z: <http://www.fine.cz/napoveda/geo5/cs/metoda-zavislych-tlaku-01/>
- [13] KOŘÍNEK, R. Mechanika hornin a zemin. In: *Geotechnici.cz* [online]. © 2012 [cit. 2015-04-27] Dostupné z: <http://www.geotechnici.cz/wp-content/uploads/2012/08/MHZ-09.pdf>
- [14] MOHYLA M. Geotechnické stavby. *Homel.vsb.cz* [online]. Březen 2015 [cit. 2015-04-27] Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~moh050/geotechnicke_stavby/kotvena_stena.pdf
- [15] MICKA, M. Statické tabulky. In: Ústav mechaniky a materiálu. *mech.fd.cvut.cz* [online]. Září 2010 [cit. 2015-04-28] Dostupné z: http://mech.fd.cvut.cz/members/micka/design_projektovani/staticke-tabulky/Valcovane_tyce_I.pdf
- [16] RÁZL, R. Navrhování dřevěných konstrukcí. In: SPŠS Havlíčkův Brod. *stavskola.cz* [online]. 2015 [cit. 2015-04-28] Dostupné z: <http://www.stavskola.cz:8091/granty/prezentace/d%C5%99evo%20a%20materi%C3%A1ly%20na%20b%C3%A1zi%20d%C5%99eva%20pro%20stavebn%C3%AD%20konstrukce.pdf>

Seznam obrázků

<i>Obr. č. 1</i>	Záporové pažení	10
<i>Obr. č. 2</i>	Způsob provedení převázek	12
<i>Obr. č. 3</i>	Typy příčného uspořádání pažené stavební jámy	13
<i>Obr. č. 4</i>	Schéma záporového pažení	15
<i>Obr. č. 5</i>	Druhy záporového pažení	16
<i>Obr. č. 6</i>	Možnosti vkládání zápor do vrtu	17
<i>Obr. č. 7</i>	Schéma záporového pažení	20
<i>Obr. č. 8</i>	Rozepřené záporové pažení širší stavební jámy	21
<i>Obr. č. 9</i>	Uspořádání hlavy pramencové kotvy	22
<i>Obr. č. 10</i>	Kotvení pomocí převázky	22
<i>Obr. č. 11</i>	Spojování dvojice zápor	23
<i>Obr. č. 12</i>	Kotvení pomocí ocelové desky	23
<i>Obr. č. 13</i>	Závislost velikosti zemních tlaků na deformaci konstrukce	34
<i>Obr. č. 14</i>	Redistribuce aktivního tlaku u jedenkrát podepřených stěn	35
<i>Obr. č. 15</i>	Doporučené tlakové obrazce pro vícenásobně podepřené stěny	35
<i>Obr. č. 16</i>	Tlak na pažící stěnu ve vrstevnatém prostředí	36
<i>Obr. č. 17</i>	Statické typy pažících konstrukcí	39
<i>Obr. č. 18</i>	Statické schéma pro nepodepřenou pažící konstrukci	39
<i>Obr. č. 19</i>	Rozdělení zatížení po délce konstrukce	41
<i>Obr. č. 20</i>	Zadání konstrukce záporového pažení	43
<i>Obr. č. 21</i>	Schéma kotvené pažící konstrukce	51
<i>Obr. č. 22</i>	Záporové pažení, koeficient redukce tlaku pod dnem stavební jámy	52

Seznam grafů

<i>Graf č. 1</i>	Průběh posouvajících sil na zadané konstrukci záporového pažení	46
<i>Graf č. 2</i>	Průběh ohybových momentů na zadané konstrukci záporového pažení	47

Seznam tabulek

<i>Tabulka č. 1</i>	Srovnání výsledků maximálních vnitřních sil	54
---------------------	---	----

Seznam příloh

<i>Příloha č. 1</i>	Průběhy vnitřních sil při návrhu na zadané konstrukci (výstup z programu GEO5)
<i>Příloha č. 2</i>	Přetvoření zadané konstrukce, modul reakce podloží (výstup z programu GEO5)
<i>Příloha č. 3</i>	Průběhy vnitřních sil při posouzení na zadané konstrukci (výstup z programu GEO5)
<i>Příloha č. 4</i>	Vzniklé deformace na zadané konstrukci (výstup z programu GEO5)
<i>Příloha č. 5</i>	Vnitřní stabilita kotevního systému (výstup z programu GEO5)
<i>Příloha č. 6</i>	Vnější stabilita zadané pažící konstrukce (výstup z programu GEO5)